統一編號
030854850057

ISBN 957-00-7250-4
9789570072501

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯

臺灣省

432.1
4626
1996

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會
論文專輯

中華民國八十五年六月六～七日舉行
臺灣省農業試驗所

TARI LIB.
C004986

楊純明 主編
林俊義 盧煌勝 編審

臺灣省農業試驗所出版
中華民國八十五年六月

432.1
4626
1996

ISBN 957-00-7250-4

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯

中華民國八十五年六月六～七日舉行
臺灣省農業試驗所

楊 純 明　主編
林俊義　盧煌勝　編審

臺灣省農業試驗所圖書館藏書

主辦單位：臺灣省農業試驗所
經費補助：行政院環境保護署
行政院農業委員會

臺灣省農業試驗所出版　臺中縣霧峰鄉
中華民國八十五年六月

004986

ISBN 957-00-7250-4

Proceedings of the Symposium on Effects of Agroclimate, Air Pollution and Acid Rain on Agricultural Production and the Strategy in Response

International Conference Hall
Taiwan Agricultural Research Institiute
June 6-7, 1996

Chwen-Ming Yang, Ph.D., Editor

Editorial Committee
Chien-Yih Lin, Ph.D.   Hung-Shung Lu, Ph.D.

Organized by: Taiwan Agricultural Research Institute
Sponsored by: Environmental Protection Administration, Executive Yuan, ROC
Council of Agriculture, Executive Yuan, ROC

Published by Taiwan Agricultural Research Institute
Wufeng, Taichung Hsien
June, 1996

邱廳長茂英致開幕詞

農作生產是作物遺傳組成與環境交感的整體表現，優良的作物品種結合了適應環境變異的遺傳基因，環境變異則相對的決定了基因的顯現及作物的生長狀態。臺灣地區自光復以來，爲滿足民眾糧食的需求及經濟發展的需要，政府秉持一貫政策恆續推動農業的生產，爲國家經濟奠定了堅固礎石。然而發達的農工商產業卻不幸的伴隨著環境污染的負面效應，不僅降低了民眾生活品質，破壞了生態平衡，同時也劣質化了農業資源，導致農業公害問題發生頻繁，農作產量與品質受到損害，嚴重干擾了農業的正常運作。

環境污染物質的種類甚多，大致可概分爲化學性的與放射性的兩大類，受到污染的自然資源則涵蓋了空氣、水、海洋、土壤、森林、及生物物種等六大項，影響層面廣大而深遠，威脅了人類及各種生物的生存。其中空氣污染乃根源於煤與石油的燃燒，或來自工廠煙囪等固定污染源，或由交通廢氣等移動污染源產生，再經由空氣的擴散與傳送形成大地域的污染。酸雨則是空氣污染的衍生產物，同樣可對農作物、土壤、森林、湖泊、及物質等造成危害，此兩種污染業經國內現有環島空氣品質與酸雨監測網證實其存在與嚴重性，迫切需要謀求因應對策。

由於農業科技的精進與發展，透過精密的氣象儀器設備的觀測與追蹤，研究人員已可掌握氣象變化的輪廓與演變趨勢，並應用氣象資料於實際的農業生產系統。在行政院農業委員會、交通部中央氣象局及本廳的通力合作下，臺灣地區農業氣象觀測網自民國七十八年起籌設迄今已頗具規模，現有一級農業氣象測站達17座，二級測站11座，組構成完整觀測系統。短期間的氣象變化及長時期的氣候變遷對農作物的生產可造成不等層次的影響，同時間接的影響空氣污染與酸雨的地區分布與濃度差異，也密切關係作物的生長表現，值得吾人重視與深入研究。

本項研討會係由行政院農業委員會和行政院環境保護署經費補助, 本廳臺灣省農業試驗所主辦。希望藉此機會邀集國內相關學者專家及農政人員齊聚發表研究心得、交換經驗，增進對問題的瞭解，並研討因應措施，深具意義與價值。本人非常的高興能出席主持此一盛會，相信研討會的成果必定十分豐碩，可提供作爲農政與環保機關政策調整的參考。謹此以預祝研討會圓滿、成功，敬祝各位各位女士、先生身體健康、萬事如意。

臺灣省政府農林廳廳長邱茂英

民國八十五年五月

序

「農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會」係由行政院農業委員會及環境保護署經費補助，臺灣省政府農林廳指導，而由臺灣省農業試驗所主辦，於1996年6月6～7日假農試所國際會議廳舉行。本論文專輯乃刊載參與研討會之學者專家發表的三十篇論文，依照專題演講及研討會五項子題順序編印，分別爲(一)空氣污染物對農業生產影響，(二)酸雨對農業生產影響，(三)微氣候(象)與農業環境，(四)農業氣象與農業生產(1)，及(五)農業氣象與農業生產(2)等。每篇論文內容均十分豐富，或爲試驗成果、或爲研究心得、或爲文獻回顧，對於促進各項議題的瞭解及未來的研發方向頗有助益，誠爲一份實用的資訊庫，值得研讀。

本項研討會由臺灣省農業試驗所統合籌備事宜，聘請行政院農業委員會農糧處林技正明華、行政院環境保護署空保處蕭技正慧娟、臺灣省政府農林廳技術室陳技正榮輝、中央氣象局預報中心劉技正復誠、國立中興大學土壤環境系申教授雍、國立屏東技術學院水保系徐教授森雄、中華農業氣象學會學術組楊組長純明及本人等八位擔任籌備委員，而由本人兼任召集人，並聘任本所農藝系盧主任煌勝爲執行秘書。籌備期間承蒙所內同仁熱心協助與服務，至爲感謝。

雖然有關空氣污染與酸雨對農業生產影響的研究仍屬起步階段，農業氣象方面的試驗則可追溯自民國七十八年起，而且經中華農業氣象學會的大力推動及行政院農業委員會與交通部中央氣象局的鼎力支持，已略具規模而頗有成就。隨著我國農業結構的轉型與農業建設方向的調整，如何因應農業新情勢乃目前的重點工作。在調整策略與措施當中,「加强農業科技研發與轉移」及「加强生態保育、有效利用農業廢棄資源」兩大項和本研討會主題息息相關，需要研究人員積極投入進行試驗研究，針對實際問題謀求因應對策。值得推介的是，行政院環境保護署預見空氣污染物質及酸雨對農業生產的潛在長遠影響，已自今八十四年度起委託農試所邀集國內各試驗研究機關進行一項整合型研究計畫，以前瞻性的作法期以深入探討農作物及土壤遭受的危害，並研擬對應措施。

本論文專輯在編印期間獲得每位作者充分合作與配合，順利付梓。惟因疏漏、錯誤在所難免，敬請不吝給予指正。相信此一論文專輯的出版不僅達到延廣研討會成果的目的，也能增進吾人對於農業氣象、空氣污染及酸雨對我國農業生產影響的瞭解，有利於持續推動相關議題的研發工作。本人樂以爲序。

臺灣省農業試驗所所長 林 俊 義

民國八十五年五月

作　　者

陳雄文
行政院環保署空保處
臺北市中華路一段41號

楊之遠
行政院環保署空保處
臺北市中華路一段41號

柳中明
國立臺灣大學全球變遷中心
臺北市羅斯福路四段一號

孫岩章
國立臺灣大學植物病蟲害系
臺北市羅斯福路四段一號

詹婷婷
國立臺灣大學植物病蟲害系
臺北市羅斯福路四段一號

申雍
國立中興大學土壤環境科學系
臺中市國光路250號

謝慶芳
臺灣省臺中區農業改良場
彰化縣大村鄉田洋村茄苳路一段361巷

謝式坪鈺
國立中興大學植物病理系
臺中市南區國光路250號

紀廷勳
國立中興大學植物病理系
臺中市南區國光路250號

徐國男
臺灣省臺中區農業改良場
彰化縣大村鄉田洋村茄苳路一段361巷

李貽華
臺灣省農業藥物毒物試驗所公害防治系
臺中縣霧峰鄉舊正村光明路11號

林正忠
農試所鳳山分所植保系
鳳山市鳳松路園藝巷4號

楊淑惠
農試所鳳山分所植保系
鳳山市鳳松路園藝巷4號

宮濟平
國立中興大學植物系
臺中市南區國光路250號

楊居成
國立中興大學植物系
臺中市南區國光路250號

楊純明
臺灣省農業試驗所農藝系
臺中縣霧峰鄉萬豐村中正路189號

蘇慕容
臺灣省農業試驗所農藝系
臺中縣霧峰鄉萬豐村中正路189號

李裕娟
臺灣省農業試驗所農藝系
臺中縣霧峰鄉萬豐村中正路189號

張愛華
臺灣省農業試驗所農化系
臺中縣霧峰鄉萬豐村中正路189號

王銀波
國立中興大學土壤環境科學系
臺中市國光路250號

劉黔蘭
國立中興大學土壤環境科學系
臺中市國光路250號

宋昌勳
國立中興大學土壤環境科學系
臺中市國光路250號

徐慈鴻
臺灣省農業藥物毒物試驗所公害防治系
臺中縣霧峰鄉舊正村光明路11號

蔣慕琰
臺灣省農業藥物毒物試驗所公害防治系
臺中縣霧峰鄉舊正村光明路11號

姚銘輝
臺灣省農業試驗所農工系
臺中縣霧峰鄉萬豐村中正路189號

漆匡時
臺灣省農業試驗所農工系
臺中縣霧峰鄉萬豐村中正路189號

蔡金川
臺灣省農業試驗所農工系
臺中縣霧峰鄉萬豐村中正路189號

蔡金池
臺灣省高雄區農改場澎湖分場
澎湖縣馬公市案山里38號

張哲瑋
農試所嘉義農業試驗分所
嘉義市民權路二號

張賢明
農試所鳳山熱帶園藝試驗分所
鳳山市鳳松路園藝巷4號

趙政男
農試所鳳山熱帶園藝試驗分所
鳳山市鳳松路園藝巷4號

王惠亮
農試所鳳山熱帶園藝試驗分所
鳳山市鳳松路園藝巷4號

黃學文
國立中興大學土壤環境科學系
臺中市國光路250號

周煒裕
國立中興大學農藝系
臺中市國光路250號

宋濟民
國立中興大學農藝系
臺中市國光路250號

劉復誠
交通部中央氣象局
臺北市公園路644號

鄭混元
臺灣省茶改場臺東分場
臺東縣鹿野鄉龍田村光榮四號

郭同慶
臺灣省高雄區農業改良場
屏東市瑞光里農事巷一號

賴永昌
農試所嘉義農業試驗分所
嘉義市民權路二號

林洋三
臺灣省蠶蜂業改良場
苗栗縣公館鄉館南村261號

林進財
臺灣省蠶蜂業改良場
苗栗縣公館鄉館南村261號

張銘文
臺灣省蠶蜂業改良場
苗栗縣公館鄉館南村261號

蘇紹璋
臺灣省蠶蜂業改良場
苗栗縣公館鄉館南村261號

許福星
臺灣省畜產試驗所飼作系
臺南縣心化鎮牧場112號

洪國源
臺灣省畜產試驗所飼作系
臺南縣心化鎮牧場112號

林文助
臺灣省臺南區農業改良場
臺南市林森路一段350號

劉慧瑛
臺灣省農業試驗所農化系
臺中縣霧峰鄉萬豐村中正路189號

梁連勝
臺灣省農業試驗所農工系
臺中縣霧峰鄉萬豐村中正路189號

李炳和
中央氣象局嘉義氣象站
嘉義市北湖里海口寮24號

林孟輝
臺灣省桃園區農業改良場
桃園縣新屋鄉後庄村16號

張學琨
臺灣省桃園區農業改良場
桃園縣新屋鄉後庄村16號

徐森雄
國立屏東技術學院水保系
屏東縣內埔鄉老埤村學府路1號

鄭俊哲
臺灣省畜產試驗所飼作系
臺南縣心化鎮牧場112號

翁仁憲
國立中興大學植物系
臺中市國光路250號

羅正宗
農試所嘉義農業試驗分所
嘉義市民權路二號

陳一心
農試所嘉義農業試驗分所
嘉義市民權路二號

劉炳燦
屏東技術學院畜牧系
屏東縣內埔鄉老埤村學府路1號

章加寶
臺灣省蠶蜂業改良場
苗栗縣公館鄉館南村261號

巫嘉昌
臺灣省茶改場凍頂工作站
南投縣鹿谷鄉初鄉村人愛路255號

目　　錄

臺灣省政府農林廳邱廳長茂英致詞文 …… I
臺灣省農業試驗所林所長俊義序文 …… II
作者 …… III
目錄 …… VII

專題演講

1. 由作物逆境觀點看空氣污染防制工作 ……陳雄文… 1
2. 臭氧光化污染之現況與控制策略建議 ……柳中明、楊之遠… 9
3. 台灣地區光化學煙霧污染及其影響 ……孫岩章、詹婷婷… 33

空氣污染物對農業生產影響

4. 臺灣地區空氣污染指標植物觀測區及資料庫之建立 ……申　雍、謝慶芳… 41
5. 二氧化硫對蔬菜作物之傷害及和黑斑病發生之交互作用 ……謝式坪鈺、紀廷勳… 53
6. 濱海地區空氣中氯、鈉及火力發電廠排放物對作物生長之影響 …謝慶芳、徐國男… 73
7. 氟化物污染源周邊植物氟之累積情形 ……李貽華、徐慈鴻、蔣慕琰… 87
8. 大氣品質對南部地區園藝作物生產之影響 ……林正忠、楊淑惠… 97
9. 篩選水稻耐二氧化硫癒合組織及其再生植株 ……宮濟平、楊居成… 111

酸雨對農業生產影響

10. 部份農藝作物對人工模擬酸雨之徵狀反應 ……楊純明、蘇慕容、李裕娟、張愛華… 121
11. 酸雨對農耕土壤的影響 ……王銀波、劉黔蘭、宋昌勳… 135
12. 硫酸模擬之酸雨對水稻劍葉及穀粒之影響 ……周煒裕、宋濟民… 143
13. 模擬酸雨對落花生生理反應之影響 ……姚銘輝、漆匡時、蔡金川… 155

微氣候(象)與農業環境

14. 澎湖地區鹽風之農業災害調查(I)防風體對鹽份及微氣候之影響……蔡金池… 169
15. 檬果園之微氣候調查 ……張哲瑋、張賢明、趙政男、王惠亮… 181
16. 臺灣西南部地區潛在蒸發散量之估算與應用 ……申　雍、黃學文… 191
17. 降雨量對小白菜產量損害率探討 ……林文助… 203
18. 不同設施栽培對葉菜類蔬菜生產之影響 ……
……蔡金川、漆匡時、姚銘輝、劉慧瑛、梁連勝、劉復誠、李炳和… 209

農業氣象與農業生產(一)

19. 東南部茶區氣象條件對茶樹芽葉生育之影響 ……鄭混元… 225
20. 氣溫對屏東地區冬季蓮霧生產之影響 ……郭同慶… 243
21. 氣象因子對甘藷塊根產量的影響 ……賴永昌、李炳和、劉復誠… 251

22. 桑葉生產與氣象條件之關係 ……林洋三、林進財、張銘文、蘇紹璋… 261
23. 氣象因子及灌溉對盤固草生產力及乾草品質之影響 ……許福星、洪國源、鄭俊哲… 269
24. 氣象因子對不同地區小白菜生育之影響 ……翁仁憲等… 277

農業氣象與農業生產(二)

25. 氣象因子對水稻生育量及產量評估技術探討 ……羅正宗、陳一心… 287
26. 北部沿海地區季節風對水稻產量及品質之影響 ……林孟輝、張學琨… 297
27. 氣象因子對大豆生產之影響 ……楊純明、李裕娟、蘇慕容… 313
28. 畜舍微氣候對乳牛產乳性狀影響之研究 ……徐森雄、劉炳燦… 331
29. 氣象條件對龍眼流蜜及蜜蜂採蜜之影響 ……章加寶… 345
30. 茶園間植田菁之微氣象對茶葉化學成分及品質之影響 ……巫嘉昌… 357
附錄 1 研討會行文機關及參加名額分配表 …… 369
附錄 2 研討會議程 …… 370
附錄 3 研討會籌備會及工作小組 …… 372
索引 …… 373

CONTENTS

Opening Speech by Commissioner Mau-Ying Tjiu …… I
Foreword by Director Chien-Yih Lin …… II
Authors …… III
Contents …… IX

Keynote Speech

1. Air Pollution Control for Reducing the Environmental Stresses on the Crops …… Hsiung-Wen Chen …… 2
2. The State of Ozone Pollution and the Control Strategy …… Chung-Ming Liu and Chea-Yang Youang …… 10
3. Photochemical Pollutants in Taiwan and Their Effects on Vegetation …… En-Jang Sun and Ting-Ting Chan …… 34

Effects of Air Pollutants on Agricultural Production

4. Establishment of Observation Plots and Database of Indicator Plants for Air Pollution in Taiwan …… Yuan Shen and Ching-Fang Hsieh …… 42
5. Damage of Vegetable Crops by Sulfur Dioxide and Its Interactions with Black Spot Disease …… Shih-Pan-Yu Hsieh and Ting-Hsun Chi …… 54
6. The Effect of Different Air Pollutants on the Growth of Crops in the Coastal Area of Central Taiwan …… Ching-Fang Hsieh and Kou-Nan Hsu …… 74
7. The Fluoride Accumulation of Plants Around a Fluoride Pollution Source …… Y. H. Lee, T. H. Shyu and M. Y. Chiang …… 88
8. The Effect of Atmospheric Qualities on Horticultural Production in Southern Taiwan …… Cheng-Chung Lin and Shwu-Huey Yang …… 98
9. Sulfur Dioxide Tolerant Rice Callouses: Selection and Plant Regeneration …… Jih-Pyng Gong and Jiu-Sherng Yang …… 112

Effects of Acid Rain on Agricultural Production

10. Responses of Some Agronomic Crops to Simulated Acid Rain …… Chwen-Ming Yang, Muh-Rong Su, Yuh-Jyuan Lee and Ay-Hwa Chang …… 122
11. Effects of Acidic Deposition on Agricultural Soil …… Yin-Po Wang, Chyan-Lan Liu and Chan-Uxin Song …… 136
12. Effects of Simulated Sulfuric Acid Rain on Flag Leaf and Seeds of Rice …… Wei-Yu Chou and Jin-Min Sung …… 144

13. Effect of Simulated Acid Rain on Physiological Responses of Peanut ············ Ming-Hwi Yao, Kung-Shy Chi and Jin-Chuan Tsai ········· 156

Micro-climate and Agricultural Environment

14. Investigation of Agricultural Injury due to Salty Wind in Penghu Area. I. Influence of Windbreaks on Saltiness and Weather ·················· Chin-chih Tsai ········· 170

15. Investigation on the Microclimate of Mango Orchard ································ Jer-Way Chang, Hsien-Ming Chang, Cheng-Nan Chao and Hui-Liang Wang ············ 182

16. Estimation and Application of Potential Evapotranspiration in Southwest Region of Taiwan ····································· Yuan Shen and Shyue Wen Huang ········· 192

17. Studies of Rainfall on the Yield and Percentage of Damage of Pak-chio ········· Wen-Juh Lin········· 204

18. Effects of Different Protected Cultivations on the Leafy Vegetables Production ······································ Jin-Chuan Tsai, Kung-Shy Chi, Ming-Hwi Yao, Huey-Ing Liu, Lien-Sheng Liang, Henry Fu-Cheng Liu and Bing-Her Lee ········· 210

Agrometeorology and Agricultural Production. I.

19. Effects of Climatic Factors on the Shoot Growth of Tea Tree in Southeastern District of Taiwan ··· Hun-Yuan Cheng ········· 226

20. Effects of Air Temperature on Yield and Quality of Wax Apple in Winter in Ping-tung Area ··· Tung-ching Kuo ········· 244

21. Effects Climatic Factors on the Storage Root Yield of Sweet Potato ············ Yung-chang Lai, Bing-Her Lee and Fu-Cheng Liu ········· 252

22. Relationship Between Production of Mulberry Leaves and Meteorological Conditions ········· Yang-Shan Lin, Jinn-Tsair Lin, Ming-Wen Chang and Shaw-Chang Su ········· 262

23. Effect of Climatic Factors and Irrigation on Productivity and Hay Quality of Pangolagrass ···············Fu-Hsing Hsu, Kuo-Yuan Hong and Chun-Che Cheng········· 270

24. Effects of Climatic Factors on the Growth of Pak-choi ···Jen-Hsien Weng *et al.* ········· 278

Agrometeorology and Agricultural Production. II.

25. The Effect of Agro-meteorological Factors on the Evaluation of Rice Growth and Grain Yield ······························· Jeng-Chung Lo and Yi-Shin Chen ········· 288

26. Influence of North-east Monsoon on the Yield and Quality of Rice in Northern Coastal Area ···························· Meng-Huei Lin and Shueh-Kun Chang ········· 299

27. Effects of Agroclimatic Factors on Soybean Production ·························· Chwen-Ming Yang, Yuh-Jyuan Lee and Muh-Rong Su ········· 314

28. Effect of Microclimate on Lactational Characteristics in Dairy Cows ············ Sen-Hsiung Hsu and Bing-Tsan Liu ········· 332

29. Effect of Meteorological Factor to Nectar Flow and Honey on Longan (*Euphoria longana* Lam.) ··· Chia-Pao Chang ········· 346

30. Effects of Intercropping with Sesbania in Tea Field on the Microclimate, Chemical Components and Quality of Tea ···························· Chia-Chang Wu ········· 358

Appendix 1 ··· 369

Appendix 2 ··· 370

Appendix 3 ··· 372

Index ·· 373

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 1-8, 1996

由作物逆境觀點看空氣污染防制工作

陳 雄 文
環保署空氣品質保護及噪音管制處

內 容

摘要……………………………………………………………………………… 2
英文摘要………………………………………………………………………… 2
前言……………………………………………………………………………… 2
原生性污染物的危害及防制…………………………………………………… 4
光氧化物的爲害及防制………………………………………………………… 4
酸性沉降的危害及防制………………………………………………………… 6
氣候變遷的危害及減緩措施…………………………………………………… 7
結論……………………………………………………………………………… 8
引用文獻………………………………………………………………………… 8

由作物逆境觀點看空氣污染防制工作

陳 雄 文

環保署空氣品質保護及噪音管制處處長

摘 要

農業作物所經歷逆境的複雜性，在全球氣候變遷、天然災害增加及環境品質劣化的多重影響下，正逐日的增加。本文依據作物受污染危害現象的尺度，依序按原生性污染物、光氧化物、及酸性沉降的危害及防制、以及全球氣候變遷的危害及減緩措施等課題，探討相對應空氣品質防制工作的現況及展望。

Air Pollution Control for Reducing the Environmental Stresses on the Crops

Hsiung-Wen Chen (Bureau of Air Quality Protection and Noise Control, Environmental Protection Administration, Executive Yuan, ROC)

ABSTRACT: The complexity of environmental stresses experienced by the crops is arising due to the climate change, the increase of natural disasters, and the degradation of environmental quality. The status and the future perspectives of the air quality protections and pollution preventions have been discussed based on the scale of the stressed phenomena onto the crops. The areas of the primary pollutants, photochemical smog, acid deposition, vulnerability and adaptation or mitigation of climate change are discussed.

一、前 言

農業作物所經歷逆境的複雜性，在全球氣候變遷、天然災害增加及環境品質劣化的多重影響下，正逐日的增加。因應加入關貿總協之後，各項農產品將隨之進一步開放進口，我國的農業也將面臨結構性的改變與衝擊。在此一時刻討論作物逆境的防護及空氣品質的保護，格外顯出其時代性及重要性。

傳統上討論作物逆境的發生原因，主要集中在農業氣象災害，如寒潮、降霜、乾旱、豪雨、冰雹、颱風及焚風等天氣現象，對農作物生長及產量的影響。近年來由於國人環保意識的覺醒，無法坐視空氣污染造成農業損害，歷年來環保糾紛案件中有關農作物受損的案例如表一所示。依據統計 [1]，空氣污染所造成的環境糾紛事件以水稻為先，損害面積約為數百公頃至一千公頃，蔬菜及果樹的危害其次，每年農作物損害賠償約在一千萬至五千萬之譜，足見其嚴重性。

空氣污染對作物的危害，可按照危害的直接程度分為原生性、二次性、三次性以及輻射性等，在大氣中傳播的途徑分別為小尺度、中尺度、區域尺度以及全球尺度，其複雜的程度依序增加，相對應防制工作的複雜性也因此依序增加，詳如表二所列。本文將依據作物受污染危害現象的尺度，探討相對應空氣品質防制工作的現況及展望。

表一 歷年環保糾紛造成農作損害案件表

代號	年、月	名稱
B7703	77, 4	後勁盆栽枯死案
D7803	78, 4	淡水養殖池修築案
D8014	81, 8	協合電廠黑煙污染馬蹄蘭
E7703	77, 10	協興玻璃熱氣廢水致稻作枯死
E7903	79, 11	奇園窯業污染農田
E8101	81, 3	廣信窯業濃煙致花木枯萎
F7802	78, 4	信大水泥飛灰污染農作
I 7902	79, 8	通霄電廠致水稻苗等作物枯萎
I 8001	80, 5	頭份工業區化工廠損害農作物
S7817	78, 9	台塑林園廠白色粉末污染農作物
S7819	78, 9	仁大工業區酸雨造成附近果樹落果
S8103	81, 7	大社高塑惡臭危害農業

表二 不同空間尺度作物空氣污染危害及防制工作

項 目	原生性污染	光 化 煙 霧	酸 性 沉 降	全 球 變 遷
空間尺度	10m～1Km	10Km～50Km	50Km～500Km	洲際～全球
時間尺度	天 ～ 週	月 ～ 季	季 ～ 年	十年～百年
危害原因	污染物直接傷害作物組織	反應生成高氧化力氣體	酸性物質傷害植體、土壤酸化微生物生態破壞、重金屬溶出毒害、病蟲害抗性降低	CO_2引發生理異常、高溫導致早熟、乾旱暴雨頻率增加、海平面上升農地減少、病蟲害抗性降低
損害金額	1～5千萬／年	11～14%/年	（未估計）	（未估計）
不確定性	低	中	高	最高
防制工作	空污相關法規	空污相關法規都市發展、	空污相關法規都市發展、區域發展、區域跨國公約	空污相關法規能源產業政策農林業政策、全球氣候變化綱要公約

二、原生性污染物的危害及防制

過去各次環保糾紛的發生，大都肇因於近距離原生性污染物造成作物的損害，諸如後勁盆栽案、電廠黑煙污染馬蹄蘭、窯業污染農田、水泥飛灰污染農作、惡臭危害農作、玻璃廠廢熱氣致水稻枯萎等，如表一所示。各次糾紛的發生原因諸如工廠操作或防制不當、意外事故發生、氣象擴散能力變異、營建工程或礦窯業等逸散性粉塵污染防制不當等，由於污染源與農地之間的距離較近，污染濃度較高，危害性也較明顯，因而在責任歸屬及認定工作上也較容易，然而一般來說，污染源若完全依據現行環保法規即可防止大部份此類污染事件的發生：

1.排放標準
   A.排放口濃度標準
   B.周界標準
   C.排放口高度限值
2.固定污染源設置操作許可辦法
3.污染源處理設備操作規範
4.特殊工業區緩衝帶設置辦法
5.化學災害預防及應變體系之建置

除既有的法規以外，尚有下列問題仍未妥善解決，有待各方面的努力：

1.特殊危害農作污染物排放標準的研訂

由於過去訂定排放標準及周界標準大多以人員的保護爲出發，對人體危害性較低而對作物危害性較高的污染物，如乙炔、乙烯等，乃以勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準的1/50作爲周界標準，此類標準是否可保護作物、且一般經勞委會認可之監測系統技術是否足以反映等問題，尚待進一步檢討。

2.污染密集區域空氣品質的改善及維護

過去曾經發生不少工業區附近農作損害糾紛，對於單一排放標準應用在工業區內，因污染源過分密集，造成空氣品質不良的情況，目前除在新建工業區環評結論中要求工業區建立總量管制審查制度，在售地階段即予規範及輔導，對於既有工業區密集排放的情形，亦可經由縣市空氣品質維護改善計畫的實施，予以減量。然而爲加速此類污染密集區域空氣品質的改善及維護，尚須定訂强有力的管制法規。

3.指標作物監測方法的標準化

空氣污染物造成作物的損害，因污染物的濃度及其他環境因子的協成作用而異，並不存在簡單的線性關係，因此以指標作物監測污染源的影響最爲直接。然而因指標作物的基質、營養、病虫害及氣象逆境的防護等因素過於複雜，栽培、觀察及分析耗時過久，並不適合廣爲設置，如何克服此一問題，以進行污染源作物危害的長期監測，需要將指標作物監測的方法予以標準化。

4.農業區附近固定源排放標準的研定

在農業技術不斷提升以及農地釋出的國家政策引導下，我國的農地單位面積生產量將繼續的增加，因而對環境污染逆境的敏感性亦將相對提高，對於高產量農地附近的固定源設置，除要求依規定設置緩衝帶以外，需不需要依據空污法授權訂定區域較嚴格的排放標準，以確保農業的持續發展？又該如何定訂？值得吾人深思。

三、光氧化物的危害及防制

依據空氣品質監測站數據分析結果，台灣地區每年約有2500～3000站次之八小時臭氧濃度超過60PPB之空氣品質標準[2]，對農作物的影響甚鉅。國內有關光氧化物中臭氧及PAN對作物的危害觀測及研究也顯示，都會區周圍的菠菜及葉用甘藷葉面漂白與空氣中的光氧化物濃度有顯著的關係[3]，國外研究也指出[4-6]，臭氧造成農作物的減產，以高出現頻率之50-87PPB濃度區間危害性最大，美國NCLAN(National Crop Loss Assessment Network)推估減產程度達全年產量的11～14%，已達危及正常的農業經濟活動的程度，值得重視。

光氧化物的發生原因，包括前驅物質（NOx,VOC）的排放、混合以及反應等機制的作用，因而在管制上須針對發生光氧化物潛勢最高的污染源，才能有效防制。由於光化煙霧的生成爲都會區密集排放的結果，除了傳統的管末排放管制以外，尚需配合都會區各項機能妥善的規劃、低污染交通工具推行及大眾運輸系統的建置等污染預防措施，加上污染抵減及交換等經濟誘因措施的實施，方能畢竟其功。

目前各項空氣污染防制措施中，可達成上述目的者如：

1.加强機車定期檢驗
2.汽機車免費檢測
3.加强路邊稽查取締
4.補助加氣站及計程車改裝爲LPG車
5.工廠污染防制輔導及評鑑

基於現階段光氧化物管制措施不足之處，以及未來預期中防制工作的需求，爲使國內光化煙霧的管制策略能具有更紮實的科學根據，對光化煙霧的影響更加量化，以喚起民眾對光化煙霧防制的意識，亟需對光化煙霧防制相關研究工作繼續加强。相關研究之架構可按照邏輯分爲排放量資料的掌握、光化煙霧對民眾及環境系統的影響評估、以及控制策略研擬三大部分，分別研究管制策略的實施對象、管制策略的必要性、以及建立管制策略等三大方向[7]。茲分述如下：

1.前驅物排放源資料建立更新

中長期來看，台灣地區光化煙霧污染防制工作首要的重點應當是管制對象的確立，包括固定源（點源）、移動源（線源）及逸散源（面源）同時進行管制。目前國內雖然已建有第二代的排放量資料系統，其中固定源及移動源氮氧化物排放量的推估，因排放係數及資料庫的品質均較佳，推估成果的爭議性較低，但是在反應性有機物方面，因化合物種太多，且大多以逸散源的型式排放，推估成果的可靠性較低。以目前排放量資料庫的品質而言，雖可充作初步評估的依據，但未來在執行減量規劃時，其準確性尚可加强。

除建立更新前驅物的排放量資料庫以外，過去對資料庫品質管制及查核工作僅限於推估過程的系統檢討，並無系統外的品質稽核，應由各污染物環境品質的定量關係，以及特定擴散性質條件（如隧道、追蹤氣體施放）下排放量與環境品質的關連性，加强並擴大這一方面的研究。

2.光化煙霧對環境影響之探討

定性上光化煙霧對呼吸系統及眼睛黏膜、特定農作物、文化古蹟畫作、油漆、橡膠等財產，以及能見度環境美質等具有明顯的影響，是國內外學者研究一致的看法。然而定量上在國內究竟有多大的影響、造成的社會及經濟成本有多少等問題，並無初步的答案。此方面亦值得深入的研究，以加强民眾宣導並提高民眾對此問題的意識，另一方面，則做爲管制措施强制施行的依據。

由於光化煙霧污染具有廣泛空間分布的特性，雖藉由現有站網可知測站代表區域附近的臭氧及PM10濃度，但對沒有測站的區域則一無所知，可結合目前酸雨作物指標測站，廣爲設置光化煙霧的簡易測站，如指標作物測站及簡易被動式光氧化物測站等，以增加對光化煙霧影響範圍以及程度的瞭解。

3.光化模式發展驗證及管制策略之研定

光化煙霧防制策略的擬定，就行政層面來看，須要預知管制措施執行之後所能達成環境品質改善的有效性，就環境保護及涵容量的層面來看，則需知道解決目前及未來光化煙霧危害所需的減量目標，光化模式則爲連接前述前驅物排放及環境影響之工具。

由於前驅物排放到大氣中，直到影響環境之間，存在有複雜的光化學反應、大氣擴散及環流作用、氣膠沉降及氧化物的表面反應等移除作用，爲一非線性的系統，

無法藉由簡單的高斯模式正確的模擬。爲發展驗證本土化的光化模式，必須要有充分的實驗觀測數據基礎，非但增進吾人對台灣地區光化煙霧現象的瞭解，更藉由各單元現象的數學化、模式的重組及驗證，增加吾人對模式作爲策略研擬工具的信賴度。

由於一項防制策略的形成，非但要由空氣品質的維護改善出發，更要考慮到國家未來經濟的發展、各項減量技術的發展、行政成本效益、以及社會各方建言的考量等，爲縮短策略形成所需的時間，加速凝聚各方面的共識，則需藉助策略方案的模式模擬。對於單項減量措施之技術可行性及成本效益性，亦應再更深入的探討，使其能成爲真正具體可行的防制方案，包括管制規範訂定、宣導、與執行等時程的配合，以及污染者及環保單位之經費配合等皆應妥爲規劃。

四、酸性沉降的危害及防制

以往酸雨造成作物危害的報告並不多，以78年仁大工業區酸雨造成落果案最爲矚目。由於酸性沉降對多年生林木果樹的危害，藉著降雨系統的移動，已成爲國際重視的環保話題，但對於草本的農藝作物來說，酸雨的直接影響遠小於間接的影響[8]，包括土壤的酸化、土壤微生物生態破壞、病虫害抗性的降低[9]、重金屬溶出造成毒害等。

酸雨的防制除了降低酸性氣體的排放總量之外，對於光氧化物的防制亦須同步進行[10-11]。後者的防制說明如上，有關酸性氣體的防制措施有：

1.油品燃煤含硫份規範
2.機動車輛加裝觸媒轉化器
3.鍋爐加裝脫硫及脫硝控制設備
4.長期酸性沉降監測及防制研究
5.參與區域跨國防制及研究工作

除了本署主要執掌空氣污染防制措施之外，相關能源政策、交通政策亦對酸性氣體的排放削減具有決定性的影響，諸如：

1.再生能源的開發使用
2.節能技術開發推廣
3.清潔燃料使用
4.電動車開發推廣

由於酸性沉降爲一區域跨國性的污染現象，因此其防制工作亦需經由國際研究、會商以及協定等方式加以推動。1990年起世界銀行以及亞洲開發銀行正進行「亞洲酸雨計畫」[12]，希望藉著歐洲酸雨防制計畫的經驗，在預期下一世紀亞洲將有高度成長經濟活動之先，推估可能連帶造成的酸性氣體排放，經區域性擴散沉降之後，對東亞地區各地生態系統及土壤可能造成的影響，並藉研究計畫的成果，推動區域防制協定的簽署。雖然在達成具體減量協定之前，需先形成合適的政治及外交局勢，然而對於各國經濟發展及排放量的推估、大氣擴散沉降模式、以及各地生態所能承受的臨界酸性沉降量等各主題之基本數據、研究方法及過程等，都應先受到學界嚴謹的考核，以免造成誤導及不公。相關的研究工作包括下列方向：

1.酸性沉降調查分析

除現行環保署在全省設有十二個酸性沉降測站之外，林業單位在福山及南仁山亦有測站進行長期雨水觀測，爲增加農業作物所承受之污染曝露量，環保署亦委託農試所在全省24個農改場設置空氣污染指標植物區，利用已知植物受污染影響的性狀，分析空氣中二氧化硫、臭氧、PAN 等一般空氣污染物以及氟化物、氨氣及乙烯等工業污染程度，未來亦將對酸性沉降敏感之指標作物加入植栽。

由於觀測站記錄方式的限制，對於降水生命週期的雨水性質時間變化未能詳盡分析；雨水中氧化物質無法適當保存，因而雨水資料中均無氧化物濃度；降雨前空氣中酸性懸浮微粒亦無分析記錄；同一場降水缺乏酸雨及酸霧的同步觀測等等限制，目前仍未有研究明確分析各項成因的重要性，包括雲內洗除、雲下洗除、境外移入、以及酸性懸浮微粒沉降等機制，可作爲防制策略擬定的有力支持。

2.酸性沉降影響評估

長時間的酸性物質除直接造成植物的傷害以外，其間接對土壤、水體及生態系統的影響更不容忽視，且經由食物鏈的累積效果，最後造成人體重金屬曝露量及危害的增加等等課題，爲本處推動相關研究的重點項目。由於各階段的影響關係都存在有高度的不確定性及非線性，因而在連接及整合應用時須先估計不確定性的傳播。

在土壤酸化極限度評估工作當中，亟需對硝酸根及其他離子的容受極限度、土壤中鹽基陽離子與鋁離子的比值（BC/Al）、土壤緩衝能力及施肥方式的關係等課題，進一步加以研究，方能正確評估台灣地區森林及土壤系統對酸性沉降的涵容能力。

3.減量技術及政策評估

在酸性沉降的防制工作當中，非但需要排放管末的減量技術，尙需在重大酸性氣體排放源區位的選擇及規劃上，依據酸性沉降排放源及受體點的關係予以慎重考量，以避免生態系統酸性沉降涵容能力的耗用。

五、氣候變遷的危害及減緩措施

全球溫室效應所引發的氣溫及降水異常、海平面上升等現象，對於海島國家之農業而言，其影響及衝擊非常顯著。由於氣溫及降水的空間分布改變，局部地區的適作品種將迅速的改變，因而農地土地使用型態、鄉村社會及經濟也連帶變遷。

究竟全球溫室效應對台灣地區農業的影響程度如何？台灣農業的適應能力如何？目前尙在評估中，相關之溫室效應減緩措施亦在審慎研擬。爲加强我國對國際環保事務的參與，行政院於1994年 8 月將原來之「全球環境變遷工作小組」擴編提升爲「全球環境變遷政策指導小組」，以下分爲七個工作小組、研擬推動內政、外交、經濟、農業、以及環保等相關各部會環境保護之整體政策，其中「氣候綱要公約工作小組」由環保署空保處擔任召集工作，目前積極進行資料準備工作。相關分析工作包括：

1.排放清冊的建立

包括能源、工業、農林部門、溶劑及其他產物的使用、土地使用變遷、以及廢污物質等六大部門之二氧化碳等六項溫室效應氣體的相關基本資料、活動量、排放係數、以及損失項（Sink Term）等資料的彙整，並以國際統一的制式試算表填報計算國家的淨排放量，作爲以下影響評估及減緩措施評析的依據，並須接受國際間的互相檢核。

2.氣候變遷影響及因應對策分析

此一部份主要應用已發展成熟較無爭議的評估模式，進行損害以及因應對策的評估，包括氣候、農業、牧草地、林業、水資源、海岸線變遷、以及其他生物社經項目等。評估結果尙需以可比較的共通形式進行跨部門整合、及下述減緩措施分析的整合。至於因應對策的的評析方面，則須確立因應政策的目標、因應政策基本要素及評估範疇、損害度及因應技術分析、對目前政策敏感性的評估以及因應政策方案分析等，並且凝聚社會各方面對因相關因應對策的共識。

3.減緩措施評析

除上述因氣候變遷造成國內影響部份，須研擬具體可行的因應補救對策以外，在積極面更需在各部門擬定溫室效應的減緩措施，能源部門包括工業、運輸、農業能源使用、傳統能源供應、及再生能源供應等五方面，非能源部門則包括林業、農業、牧草地、廢污物質等四方面。經GDP 、人口、燃料價格、能源政策、能源密度、國家預測資料彙整、排放係數等主要情境假

設之後，進行總體經濟衝擊評估，進一步擬定排放減量、能源使用量、排放削減價格、以及技術可行性等減緩政策方案，評估減緩措施方案之碳量收支、價格及收益收支、總體經濟效益、以及政策執行障礙等項目整體的可行性。

六、結 論

經由大氣的傳輸、擴散、轉化以及移除等機制的共同作用，空氣污染物輾轉造成農作物不良的影響。由於近距離小尺度的影響，空氣污染物濃度較高、危害較顯著、因果關係也較明顯，因而管制工作的施行較為順暢。然而在都會區的光化煙霧、區域性酸性沉降、以及全球環境變遷等議題上，其對農業的影響層面更深更廣，防制工作也更為複雜，其間尚有許多課題值得學界進一步探討及推廣，以使我國農業可永續發展，亟需各方面的共同努力。

引用文獻

李國欽 1991 農業環境污染及其因應對策，農業環境與水土資源保育利用，中華民國農學團體80年聯合會。

張能復 1996 都會區臭氧污染潛勢分析及防制之研究，第一年期中報告，環保署委託計畫，p1-2.

孫岩章 1994 台灣北部地區O_3對葉用甘藷及菠菜之影響，中研院植物學彙刊35 (3):165-170 。

Rosenbaum, B. J., T. C. Strickland and M. K. Mcdowell. 1994. Mapping critical levels of ozone, SO_2, and NO_2 for crops, forests and natural vegetation in the U. S. Water Air & Soil Pollut. 74:307-319.

Krupa, S. V., M. Nosal and A. H. Legge. 1994. Ambient ozone and crop loss: Establishing a cause-effect relationship, Environ. Pollut. 83(3):269-276.

Tingley, D. T., D. M. Olszyk, A. A. Herstrom and E. H. Lee. 1994. Effects of ozone on crops, in "Tropospheric ozone: Human health and agriculture impacts" ed. by D. J. McKee, Lewis Publishers, BocaRaton, pp195-202.

張能復等. 1996. 台灣地區二次污染防制研究中長程規劃草案，個人通訊。

Khan, M. R. and M. W. Khan. 1994. Effects of simulated acid rain and root-knot nematode on tomato, Plant Pathology, 43(1):41-49.

Soares, A., J. Y. Ming and J. Pearson. 1995. Physiological indicators and susceptibility of plants to acidifying atmospheric pollution: a multivariate approach. Environ. Pollut. 87:159-166.

Liu and Smith 1995. The avalibility of H_2O_2 in acidification of cloud, Atmospheric Environment 29:22.

Zhlia et al. 1993. Feature of cloudwater chemistry over some areas in China, Proceeding of the Inter. Conf. on Regional Env. and Climate change in East Asia, Taipei, Taiwan, Nov. 30-Dec. 2. p.339-342.

Carmichael, G. R. et al. 1993. Acid raind and emission in Asia: An international collaborative project on acid rain in Asia, Proceeding of the Intl. Conf. on Regional Env. and Climate change in East Asia, Taipei, Taiwan, Nov. 30-Dec. 2. p.328-333.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 9-31, 1996

臭氧光化污染之現況與控制策略建議

柳中明[1] [2]楊之遠

[1]台灣大學大氣科學系 [2]行政院環保署空保處

內 容

摘要……10
英文摘要……10
一、前言……11
二、1993年7月～1994年12月近地面臭氧氣候統計分析……13
三、嚴重污染個案分析……16
四、討論與建議……27
誌謝……29
引用文獻……29

臭氧光化污染之現況與控制策略建議

柳中明[1] [2]楊之遠

[1]台灣大學大氣科學系 [2]行政院環保署空保處

摘 要

台灣近地面臭氧光化污染問題，早已是不爭的事實。1993年7月環保署啓用66個新的空氣品質監測站，由於新站普遍離地12公尺以上，且距離道路至少20公尺，因此較過去測站更能反應大範圍臭氧光化污染的實況。本文分析1993年7月～1994年12月環保署資料，除一方面證實作者們所長期提出之「北部在夏季，中南部在秋季」爲臭氧光化污染最嚴重時期外，更發現高臭氧濃度不是僅出現在少數測站，而是大範圍地區的現象，如美濃山區、萬里濱海區均多次出現小時臭氧濃度超過國家標準120ppbv的狀態。我國臭氧光化污染最嚴重的測站是在屏東，1993年7月～1994年12月共出現134次小時臭氧濃度超過120ppbv的情形，1994年內約爲85次。本文另外分析5次嚴重污染個案時期之臭氧時空變化與大氣環流之相關。大致上，在適當的綜觀氣象環境狀態下，譬如颱風接近時，其前緣之下沈氣流與地形阻隔作用，會促使台灣不同區域出現光化污染狀況。未來更深入的分析研究，將有助於事前之污染預報掌握。本文最後對台灣整體性之光化污染研究與控制策略擬定，提出全盤性之規劃建議，希望提供相關機構與學者之參考。

關鍵詞：臭氧光化污染、整體規劃

The State of Ozone Pollution and the Control Strategy

Chung-Ming Liu[1] and Chea-Yuan Young[2] ([1]·Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University and [2]·Bureau of Air Quality Protection and Noise Control, EPA)

Abstract: There is no dispute about the severe ozone pollution problem in Taiwan. In this paper, we have analyzed the air-quality data collected by the Environmental Protection Administration (EPA) of the Executive Yuan during July 1993-December 1994. These stations are all located at altitudes at least 12m above the ground and 20m away from the major traffic. Hence, these stations are suitable to monitor the ambient air-quality condition. In short, we noted that the most suitable season for the occurrence of the ozone episodes was in summer over the northern area and in autumn over the mid-and southern regions. Also, it is confirmed about the wide-spreaded high ozone level all over most of the western Taiwan. Episodes were even observed at the mountain site MeiLoon and the sea-short site WanLi. The station

with the most frequent occurrence of the hourly-ozone concentration exceeding the national standard of 120ppbv was at Ping Tung, I.E. 134 times during July 1993 December 1994 and 85 times in 1994. We have also explored the temporal and spatial variation of the ozone concentration and the wind field during five selected ozone episodes. In all, Favorable synoptic condition was veryy important to the occurrence of ozone episoses. For instance, during a period of typhoon approaching, the downdraft at front accompanying with the terrain blocking effect could create suitable condition for a significant ozone production and accumulation over a certain part of Taiwan. Further research is needed to use such knowledge to the prediction of episode. In this paper, we have also outlined in detail an overall study plan for the ozone pollution and control strategies research.

Key words: Ozone pollution, Overall planning.

一、前 言

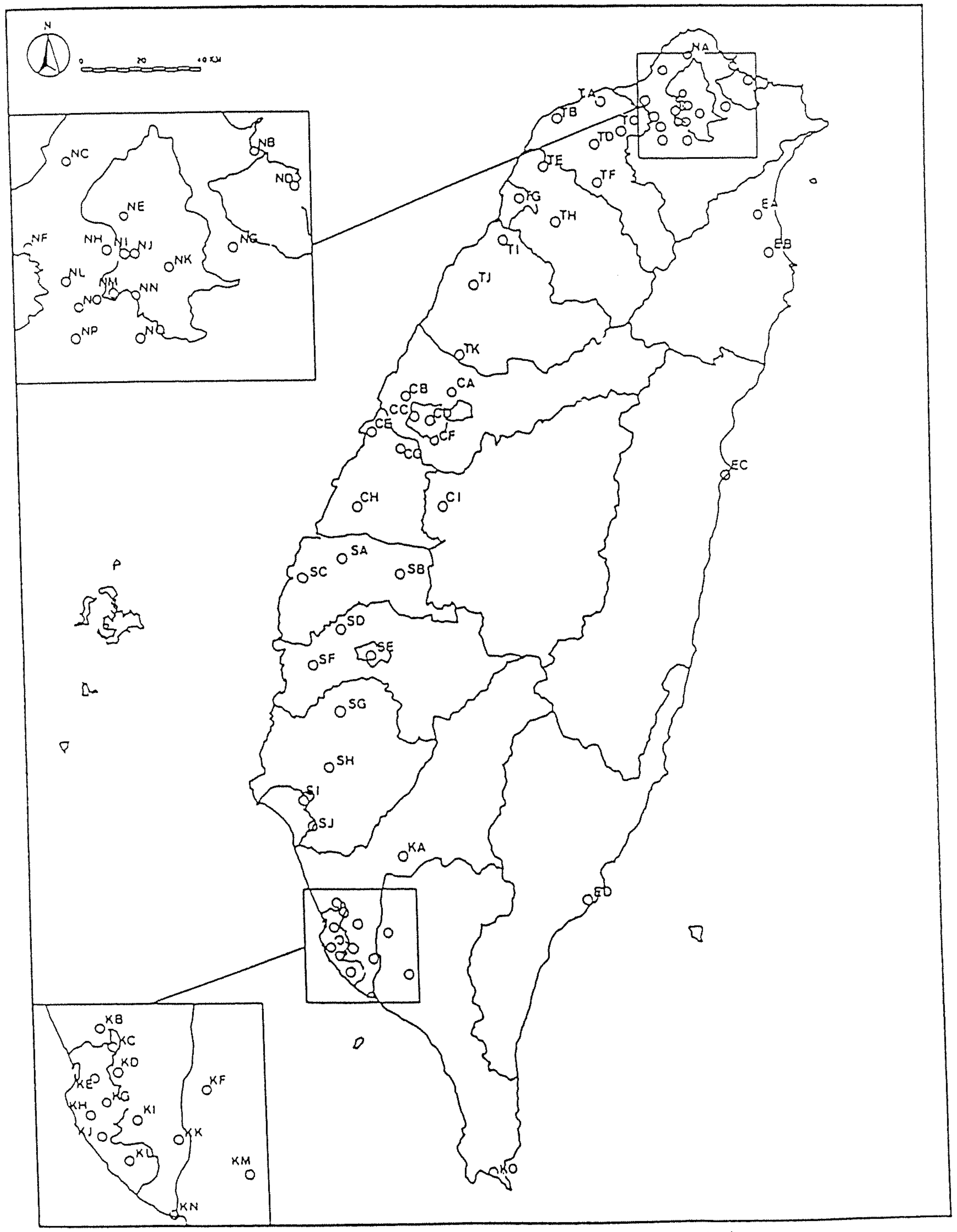
自1950年以來，光化煙霧污染已成爲世界性的困擾（Seinfeld, 1989）。汽機車數量大幅度成長，所排放之氮氧化合物（NOx）與揮發性有機物質（VOC; Volatile Organic Compounds），在充分的光化反應機制下會形成臭氧等二次污染物（柳與盧，1991），並在適當的氣象環境下，迅速累積，造成對人體健康不適的環境（Liu et al., 1994a）。

台灣的臭氧光化污染問題，早已是不爭的事實（柳，1993a）。Liu and Young（1995）嘗分析1988～1993年間，行政院環境保護署的19個空氣品質監測站資料。這些測站由於位於近地面，且靠近交通要道，因此均測量到高濃度的一氧化碳（CO），以及柴油車所排放之二氧化硫（SO_2），當然氮氧化合物（$NOx = NO + NO_2$）的濃度亦相當高。所以這19個測站適合歸類於近似交通測站。不過，1988～1993年間板橋站仍曾出現15～32次臭氧小時平均濃度超越國家標準120ppbv的狀況，而七賢站更在 1989年出現54次超越國家標準的情形。小時平均臭氧濃度，最高在板橋站與中壢站曾達230 ppbv，在楠梓站與七賢站曾達200ppbv，以上可見台灣臭氧光化污染嚴重的情形。

大略上，由於北部較南部之汽機車數量多，所以NO濃度高，但臭氧濃度卻有由北往南遞減的現象。同時，由於氣候狀態的變動，北部在夏季，南部在春、秋季，易出現高污染狀況。另外，Liu and Young（1 995）更指出，由於汽機車數量持續上升，多數測站在1988～1993年間，均測量到NO濃度持續上升，但是O_3濃度出現前三年上升，後三年下降的現象。換言之，這些測站太接近地面，臭氧未經充分時間生成與累積，就無法在這些測站資料中顯現出我國汽機車數量持續增加的效應。

1993年7月環保署大幅更換空氣品質監測站，由原來的19個測站增加爲66個測站（圖一），柳與李（1994）特別指出新站普遍離地12公尺以上且距離道路至少20公尺，比舊站至少高約3公尺且遠離道路16公尺。因此新站所測CO僅爲舊站的0.4～0.8倍，NO僅爲舊站0.25～0.8倍，均顯示遠離交通污染源的特性。另外，NO_2約爲舊站的0.6～1.4倍，並未明顯改變；O_3卻爲舊站的1.2～2倍。後二者特性的改變，就顯示新站較舊站更適合測量充分光化反應後的大氣臭氧濃度，因此新站應可歸類爲城市環境大氣之一般測站。柳與李（1994）進一步指出，更新測站後，台灣地區的主要指標污染物雖然仍是懸浮微粒，但是臭氧成爲指標污染物之比例卻明顯增加，在各測站出現之

比例約在10％～50％間。換言之，目前的新站，已可充分反應我國汽機車數量長期成長下，大環境光化煙霧污染惡化之狀態。



圖一：環保署66個空氣品質監測站位置圖，代號請查表一

本文延續過去的研究，主要使用1993年7月～1994年12月的66個環保署測站資料，以分析臭氧光化污染特性是否與過去舊站的表現有所不同；其次選擇不同季節下具代表性之嚴重個案，分析當時的臭氧濃度分佈情形；最後提出未來應加強之研究重點建議。

二、1993年7月～1994年12月近地面臭氧氣候統計分析

2.1 臭氧光化污染現象

表一詳列出66個測站在1993年7-12月與1994年1-12月間所測量到之小時平均臭氧濃度超過120ppbv的次數，以及季節分佈情形。120ppbv爲我國國家標準所允許之最高小時平均濃度，超越此標準的次數越多，就表示當地之臭氧光化現象愈惡化。同表亦列出各站所曾測量到之最大臭氧濃度。

北部地區以土城所測到之43次超過標準爲最嚴重，其次爲萬里35次，新店29次，萬華25次，松山25次，板橋24次，古亭22次等。最大臭氧濃度出現在土城（216 ppbv）、新店（207ppbv）與古亭（200 ppbv），萬里亦嘗出現159ppbv的高濃度，以上足以說明北部地區臭氧光化污染的嚴重性。值得注意的是，除萬里站外，這些超過標準20次以上的測站都是位於台北盆地內淡水河流域與基隆河流域的下游，且靠近林口台地與中央山脈的交會處。顯然是受區域氣流影響，所以高光化污染現象集中在這個地區（柳與蘇，1995a）。表一顯示多數污染事件都是出現在夏季。另外，萬里測站亦是在夏季多出現污染事件，當地爲濱海沙灘，污染物應是由其他地區傳送而來。比較可能的過程爲：台北盆地大量之臭氧先驅污染物NOx與VOC受陸風傳送至海峽上，再受西南季風與白日海風輸送至北方濱海地區，同時光化反應持續進行，而至高臭氧污染狀況出現在萬里站。由於海洋面上資料缺乏，要正確證明上述現象，必須進行飛航測量。

桃竹苗區以龍潭19次，苗栗18次與三義12次較爲嚴重，最高濃度在龍潭曾達153 ppbv，次爲苗栗148ppbv，多數站也都曾出現超過120ppbv的情形。另外，春、夏與秋季都易出現高污染狀況，其與氣象環流間之關係，未來須詳細探究，才能釐清。

中部地區以南投26次，豐原22次，最爲突出。最高濃度在南投曾達156ppbv，忠明148ppbv，豐原140ppbv等。以秋季出現高污染狀況最爲頻繁。

雲嘉南區以後甲出現12次小時平均臭氧濃度超過120ppbv爲最多，最高濃度約160ppbv，且主要出現在秋季。似乎雲嘉南區目前的臭氧污染狀況較西部平原上其他地區爲最佳。不過，仍然是多數測站均曾出現小時臭氧濃度超過120ppbv的情形。

高屏地區大概是我國臭氧光化污染最嚴重的地區，屏東站共出現134次超過標準的狀況，1994年就出現85次。其次爲左營69次，林園68次，潮州與橋頭各38次等。最高濃度在林園曾達210ppbv，屏東207 ppbv，甚至台灣南端的恆春站亦曾出現178 ppbv的高濃度。更值得注意的是：主要污染狀況都是出現在秋季，次爲春季。但是，即使是在冬季，當全國其他測站均少出現高臭氧污染狀態時，橋頭、左營、屏東與潮州均曾出現10次以上的高污染狀態。

總而言之，台灣地區除東部外，確實有嚴重的光化污染現象，特別是在高屏地區，其次是北部地區，然後是中部地區，桃竹苗區，以及雲嘉南區（分區請參考圖一）。值得注意的是，台灣西部由萬里到恆春，幾乎是每一個測站都曾出現小時臭氧濃度大於120ppbv的情形，甚至如萬里濱海站、陽明山背景站、美濃山區、恆春旅遊區等等，均出現過高污染狀況，這個現象顯示臭氧光化污染的廣泛性、嚴重性與對人體健康的潛在危害性。另外，目前這些測站多數都是位於人口集中的平地，而非位於山區。但是空氣是持續在流動的，臭氧的光化反應過程在白日更是不斷地在

進行著。可以想像得到，位於平地下風處的山區內，森林地帶自然生態系統受到大範圍臭氧污染的威脅，應是相當惡劣。

表一、1993年7～12月與1994年1～12月之臭氧＞120ppbv之小時數與最大濃度(ppbv)之分析

	編號	代號		臭氧＞120ppbv 之小時數 1993 7-12	1994 1-12	總和	春季	夏季	秋季	冬季	最大濃度(ppbv) 1993 7-12	1994 1-12
	1	NA	陽明	2	6	8	3	3	2	0	144	141
	2	NB	萬里	9	26	35	3	27	5	0	145	159
	3	NC	淡水	0	0	0	0	0	0	0	119	116
北	4	ND	仁愛	2	5	7	0	7	0	0	125	137
	5	NE	士林	2	3	5	0	3	2	0	136	162
	6	NF	林口	1	1	2	1	1	0	0	146	121
	7	NG	汐止	14	2	16	0	15	1	0	185	127
	8	NH	蔡寮	1	5	6	1	4	1	0	130	147
	9	NI	大同	0	0	0	0	0	0	0	-	-
	10	NJ	中山	2	8	10	2	5	3	0	125	152
	11	NK	松山	7	18	25	5	16	4	0	190	166
	12	NL	新莊	4	5	9	2	4	2	1	152	141
	13	NM	萬華	3	25	28	9	15	4	0	156	169
部	14	NN	古亭	4	18	22	6	15	1	0	181	200
	15	NO	板橋	11	13	24	4	15	5	0	162	163
	16	NP	士城	8	35	43	11	19	12	1	169	216
	17	NQ	新店	5	24	29	7	18	3	1	152	207
	18	TA	大園	4	0	4	0	0	4	0	141	115
桃	19	TB	觀音	6	3	9	0	1	8	0	137	123
	20	TC	桃園	3	2	5	0	5	0	0	126	136
	21	TD	五權	1	1	2	1	1	0	0	135	124
	22	TE	湖口	0	2	2	1	0	1	0	105	128
竹	23	TF	龍潭	5	14	19	3	7	9	0	126	153
	24	TG	新竹	0	0	0	0	0	0	0	112	119
	25	TH	竹東	2	8	10	1	3	6	0	129	132
	26	TI	頭份	0	0	0	0	0	0	0	-	-
苗	27	TJ	苗栗	2	16	18	12	3	3	0	129	148
	28	TK	三義	10	2	12	0	1	11	0	139	126
	29	CA	豐原	10	12	22	4	3	15	0	139	140
	30	CB	沙鹿	6	0	6	0	0	6	0	136	116
中	31	CC	西屯	5	9	14	2	1	11	0	146	133
	32	CD	忠明	8	3	11	0	0	10	1	148	131
	33	CE	線西	0	0	0	0	0	0	0	-	-
	34	CF	大里	6	3	9	0	0	9	0	138	128
部	35	CG	彰化	1	0	1	0	0	1	0	125	115
	36	CH	二林	0	0	0	0	0	0	0	117	112
	37	CI	南投	9	17	26	1	0	25	0	156	132

(下頁續)

表一、1993年7～12月與1994年1～12月之臭氧＞120ppbv之小時數與最大濃度(ppbv)之分析(續)

	編號	代號		臭氧＞120ppbv 之小時數 1993 7-12	1994 1-12	總和	春季	夏季	秋季	冬季	最大濃度(ppbv) 1993 7-12	1994 1-12
	38	SA	崑崙	0	0	0	0	0	0	0	111	105
雲	39	SB	斗六	1	0	1	0	0	1	0	121	119
	40	SC	台西	2	5	7	1	0	6	0	126	137
	41	SD	新港	1	2	3	0	0	3	0	121	125
嘉	42	SE	嘉義	1	2	3	0	0	4	0	124	136
	43	SF	朴子	1	5	6	0	0	6	0	121	154
	44	SG	新營	5	1	6	1	0	5	0	144	123
南	45	SH	善化	5	3	8	1	0	6	1	132	141
	46	SI	安南	0	6	6	3	0	2	1	120	130
	47	SJ	後甲	2	10	12	2	0	7	3	160	147
	48	KA	美濃	12	14	26	7	1	15	3	154	177
	49	KB	橋頭	16	22	38	6	2	20	10	151	159
	50	KC	楠梓	7	16	23	5	1	13	4	149	143
	51	KD	仁武	3	5	8	0	1	5	2	139	141
高	52	KE	左營	33	36	69	6	4	47	12	158	162
	53	KF	屏東	49	85	134	32	8	78	16	207	182
	54	KG	三民	6	12	18	5	4	7	2	138	197
	55	KH	前金	1	10	11	3	2	4	2	124	166
	56	KI	鳳山	6	8	14	3	5	4	2	146	143
	57	KJ	前鎮	0	0	0	0	0	0	0	-	-
屏	58	KK	大寮	9	13	22	1	3	18	0	151	135
	59	KL	小港	3	13	16	3	1	11	1	129	149
	60	KM	潮州	20	18	38	3	0	23	12	172	147
	61	KN	林園	59	9	68	0	7	54	7	210	145
	62	KO	恆春	2	9	11	5	1	4	1	146	178
東	63	EA	宜蘭	0	0	0	0	0	0	0	108	113
	64	EB	冬山	0	0	0	0	0	0	0	-	-
	65	EC	花蓮	0	0	0	0	0	0	0	93	92
部	66	ED	台東	0	0	0	0	0	0	0	115	108

在季節的分布上，臭氧污染在北部地區主要出現於夏季，南部地區出現於秋季，這應與氣象環流的季節性變化有關（柳與蘇，1995b），未來應深入探討，以了解其特徵，並作爲光化污染預測的參考準則。

2.2 月際變化分析

上一節約略提出北部在夏季，南部在秋季，易出現高污染狀況。圖2a,b,c,d 中分別選擇西部平原上一些具代表性之高臭氧污染測站，以了解各地出現小時濃度大於120ppbv的月際變化情形。

北部地區，萬里、松山、萬華與土城四站爲四個代表性測站（圖2a）。萬里站以1994年6月出現12次高臭氧個案爲最突出。另外萬里站在4、5、6、7、8、9、10與11月均會出現高污染狀態，松山與萬華二站

之月際變化與萬里類似。土城則由2月至11月均可能出現高濃度臭氧。1994年7月台灣颱風與豪雨頻繁，所以臭氧污染不明顯，但是6月確實是明顯的高污染月份。

桃竹苗區，龍潭、竹東、苗栗與三義四站爲代表測站。其中苗栗站在1994年5月出現11次高臭氧個案爲最突出。苗栗在4、5、6、7與9月會出現污染個案。龍潭則在1994年6月出現5次，另外5、6、7與9月會出現高臭氧濃度。竹東則在5、6、7、9與10月，三義在6、9、10與11月等會出現臭氧污染嚴重個案。值得注意的是：7、8月夏季似乎並非桃竹苗區出現臭氧污染的季節。

中部地區，豐原、忠明、南投與後甲爲代表性測站。其中南投在1994年10月出現9次高臭氧個案爲最突出。南投站主要在5、9、10與11月會出現污染個案；忠明站在9、10、11與12月；豐原站在5、6、9、10與11月；後甲站在5、10、11、12與1月等會出現高臭氧濃度。可以看出，中部地區以5、6月和9、10、11月爲主要臭氧污染月份。

高屏地區，以屏東、左營、潮州、橋頭與美濃爲代表測站。其中以屏東站在1993年10月出現33次臭氧污染個案爲最突出。大致上一年12個月份內各站都可以出現1次以上的個案，但是仍以4、5月和9、10、11月爲最顯著的月份。

以上討論主要强調就月份而言，台灣西部地區幾乎在任何一個月份，即使在最寒冷的1、2月份內，都可以出現小時臭氧濃度大於120ppbv的污染狀況。由於各地區的氣候變化是最主要影響臭氧污染的季節性變化因素，因此要解釋北部在6、7、8月，南部在4、5、6與9、10、11月等易出現高臭氧污染的背景原因，就必須由分析各地氣象資料來著手，此點在柳與蘇（1995b）中，將有所說明。

2.3 化學特性分析

在Liu and Young（1995）中，吾人分析環保署過去19個測站資料，指出台灣地區臭氧濃度由北往南增加，同時臭氧先驅物質NO則由南往北增加，二者間呈現明顯之負相關。同時NO_2/NO愈大者（大於1），臭氧濃度愈大。換言之，NO2/NO愈大，即表示光化反應充分，遠離污染源，所以NO濃度低，臭氧濃度高。

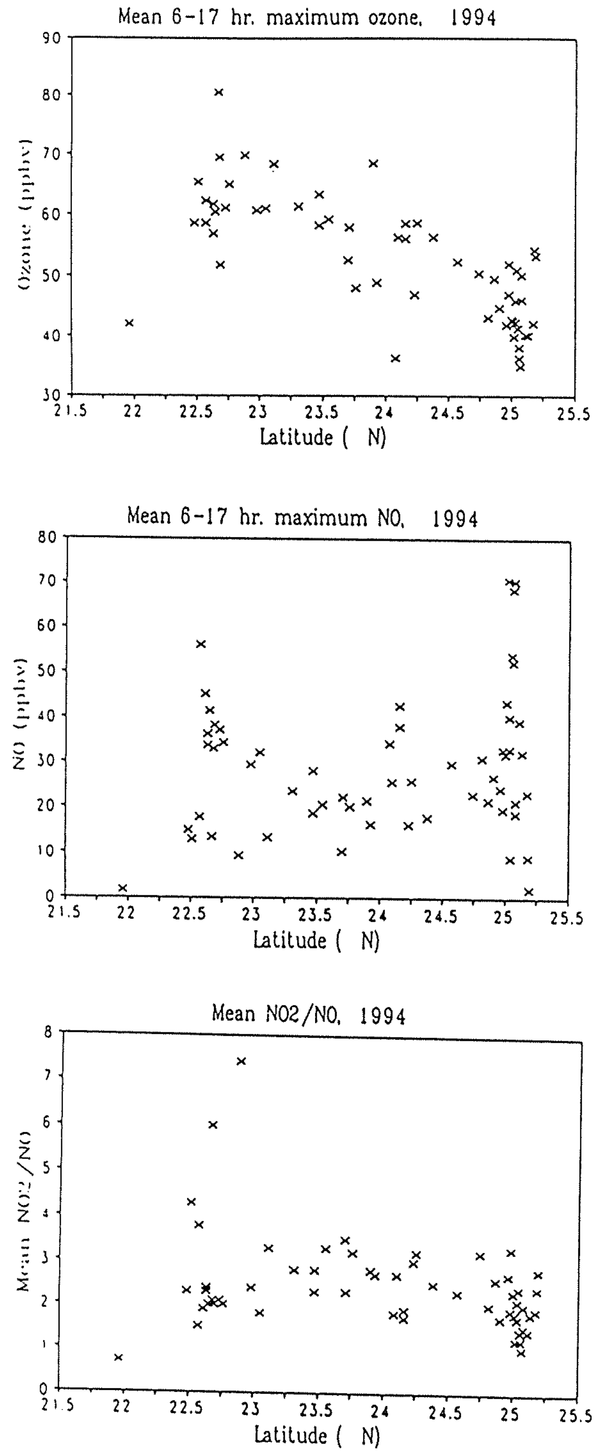
本節分析1994年之62個新測站臭氧濃度資料（除了東部的4個測站資料）；並取各站每日6-17時之最大臭氧濃度的年平均值，代表當地臭氧光化污染狀況。再取各站6-17時之最大NO濃度的年平均值，代表所測污染源特性資料。同時取各站NO_2/NO之年平均值，代表NO自污染源釋放後，經光化反應後的狀態。

圖2a顯示6-17時最大臭氧濃度之年平均值隨緯度的變化情形，明顯地，平均最大臭氧濃度由北向南增加（若忽略恆春資料）。若以平均值來討論，差距約在20ppbv以上。至於年平均6-17時最大NO濃度（圖2b），雖然最大值72ppbv出現在北部，但是南部地區亦有58ppbv的高濃度。大略上，目前測站所測之NO濃度，已無過去明顯之由南往北增加的現象。其原因可由年平均NO_2/NO值看出（圖2c），幾乎每一站之NO_2/NO值均在1以上，甚至達到7.5。倒是恆春站，因爲NO與NO_2均低，所以反而小於1。

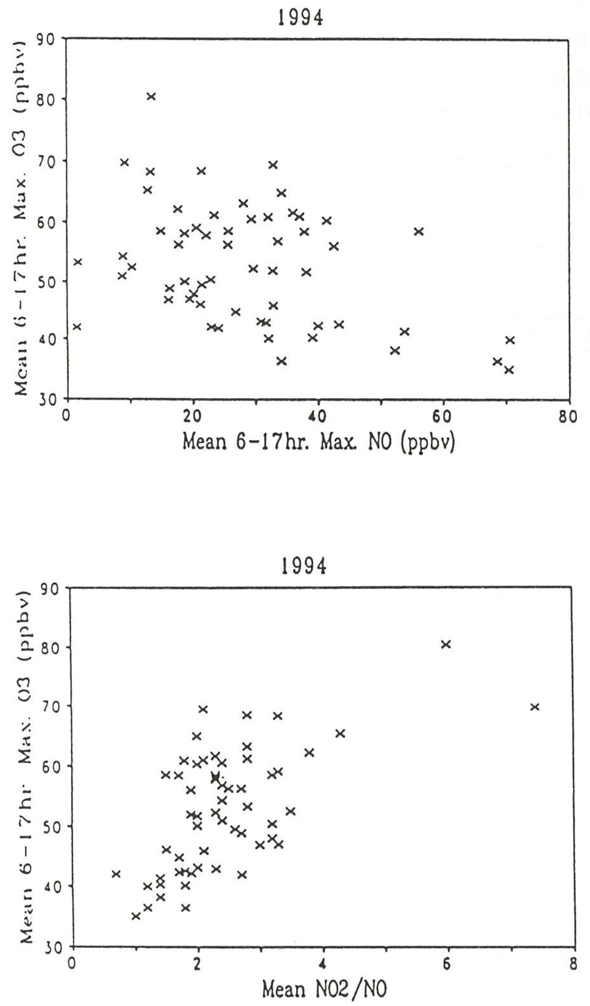
進一步分析O3與NO的相關（圖3a），以及O3與NO_2/NO的相關（圖3b），可以發現測站之NO濃度愈高，O_3濃度愈低，也即二者間具負相關。同時測站之NO_2/NO比值愈高，O_3濃度愈高，也即二者間具正相關。換言之，目前的測站較過去的19個測站，在掌握光化污染的現象上，非常符合大氣化學之光化理論特性。

三、嚴重污染個案分析

本文選擇數個具代表性之嚴重光化污染個案，以了解臭氧濃度之時空變化特性，以及與氣象環流之相關。



圖二：1994年台灣西部各測站之年平均每日6-17時最大（a）臭氧濃度與（b）NO濃度，以及（c）年平均NO_2/NO比值之緯度變化圖



圖三：1994年台灣西部各測站之年平均每日6-17時最大臭氧濃度與(a）年平均每日6-17時最大NO濃度，與（b）年平均NO_2/NO 比值之相關圖

3.1南部高屏地區 - 1993年10月27～29日

秋季時南部高屏地區臭氧光化污染嚴重，以1993年10月27~29日爲例，左營、屏東、大寮、小港、潮州、林園等測站均測到多次小時臭氧濃度超過120ppbv的情形，最高濃度出現在10月28日屏東午時153.6 ppbv。最高濃度多出現在12～14時之間，且以單尖峰型爲主要日變化型態。

將66個測站資料加以整理，可以繪出臭氧空間分佈情形，圖4特別將10月27～30日14時之地面臭氧空間分布圖繪出，吾人可以明顯地看出高臭氧濃度集中出現在南部地區的情形，與其他地區（特別是北、東部）的低濃度狀況。顯示這種空間分佈情形，應與大氣環流狀態有關。

圖四：1994年(a)10月27日14時、(b)10月28日14時、(c)10月29日14時、(d)10月30日14時之台灣全島臭氧濃度分佈圖

分析這數日的綜觀天氣資料，可以發現在這數日內有一乾冷鋒面南下，27日時在華南地區，28日已到達台北北部（圖5a）。不過，雲雨主要出現在北、東部，無法達中、南部，雖然30日後中南部已有雲層出現。以28日爲例，當日南部陽光充足，海陸環流明顯，不過風速不强。圖5b、c、d顯示整個台灣地區盛行風似乎都不明顯，反而是在14時海風由海洋吹入內陸的現象，非常明顯。這也就解釋爲何最高臭氧濃度出現在14時之前。因爲14時後，穩定的海風能將污染物持續輸入山區內陸地帶，所以臭氧濃度就開始急速下降。很可惜我國在深山地區測站資料少，否則可以了解山區出現高臭氧濃度時間是否會延後，且濃度是否會較平地爲高。

3.2 北部地區－1994年6月24日

夏季時北部地區臭氧光化污染嚴重，以1994年6月24日爲例，松山、古亭、板橋、土城、新店等多數測站均測到午時臭氧濃度超過120ppbv的情形，古亭與土城之午時濃度更已超越200ppbv，甚至如北部濱海測站萬里之午時濃度亦達170ppbv。圖8a顯示大台北盆地當日14時臭氧污染嚴重的景況。

綜觀環境顯示當日台灣位於鋒前暖區（圖6b），同時西南方輕度颱風接近，東方太平洋高壓强盛，台灣地區盛行風不强，但下沈氣流明顯，而致豔陽高照。圖9a、b、c顯示海陸風環流明顯，但是風速並不强盛。這樣的情形約持續到25日。

3.3 西部地區－1994年10月2～5日

秋季是我國最易出現高臭氧污染的季節，一般均以中、南部爲主要發生地區。因爲秋季時東北季風强盛，北部易出現盛行風强與雲雨狀態，中南部反而因中央山脈的阻擋，而致水汽少、晴朗、盛行風不明顯。不過，在1994年10月2～5日期間，台灣地區臭氧污染狀態持續出現，且不僅出現在中、南部，亦出現在桃竹苗區與部份北部地區測站，譬如龍潭、豐原、西屯、南投等地，並全以單尖峰型態爲主要日變化特徵，也即高臭氧濃度主要出現在12-14時，臭氧濃度可達近160ppbv（龍潭）。若將14時臭氧濃度繪出，可以了解西部地區在這數日內，午時臭氧光化污染嚴重的狀況（圖7）。特別是在10月3日14時，O_3濃度超越100或120ppbv的區域，可說是由北往南，包括整個西部地區人口集中地區。

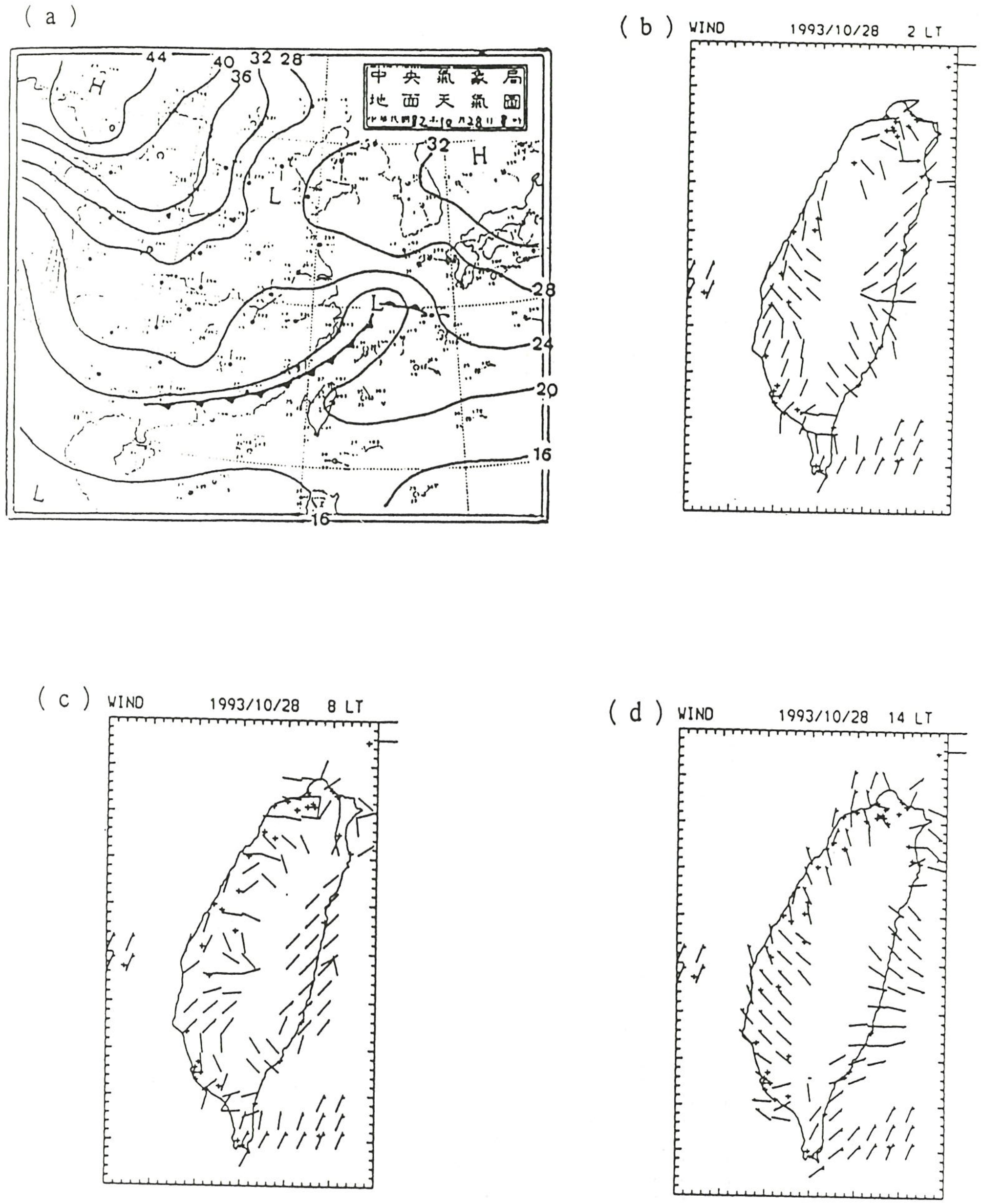
在這段期間內，大陸冷高壓逐漸增强，但是太平洋高壓也未完全撤離對台灣地區的影響，以10月3日爲例，圖8a顯示滯留鋒面停留在華中、華南一帶，台灣地區可謂是盛行風弱，且下沈氣流明顯。詳細之當日近地面氣流，已繪於圖8b、c、d。大致上，盛行風爲東風（澎佳嶼測站資料），不過風速小於2.5 m/s。沿西部平原，清晨陸風與午時海風的熱力環流現象非常明顯。

3.4 中部地區－1994年10月7～8日

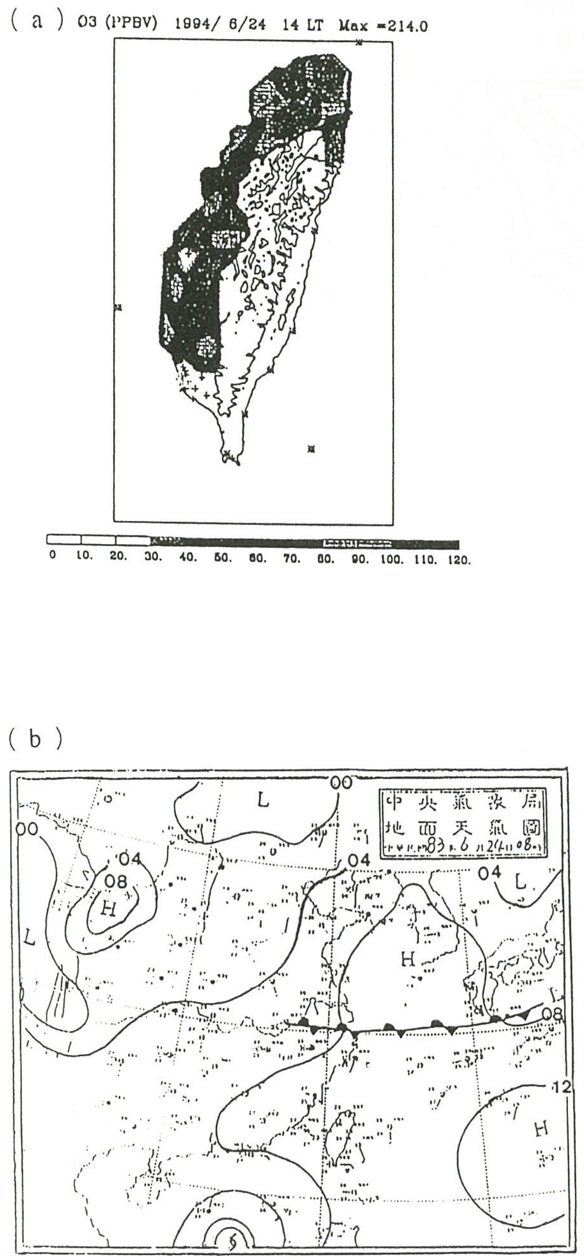
以上三節內，吾人分別介紹南部高屏地區，北部地區，與西部地區出現高臭氧污染個案的狀況。另外，中部與雲嘉南地區亦可能單獨發生嚴重污染的狀況，不過，卻是在東南方颱風系統逐漸北上接近台灣之時。

在1994年10月7與8日，中部與雲嘉南區的豐原、西屯、忠明、南投、斗六等測站均發生臭氧濃度大於120ppbv的情況，不過最高濃度才約124ppbv。另外，圖9a、b顯示O_3濃度大於110ppbv的區域，主要在中部地區。

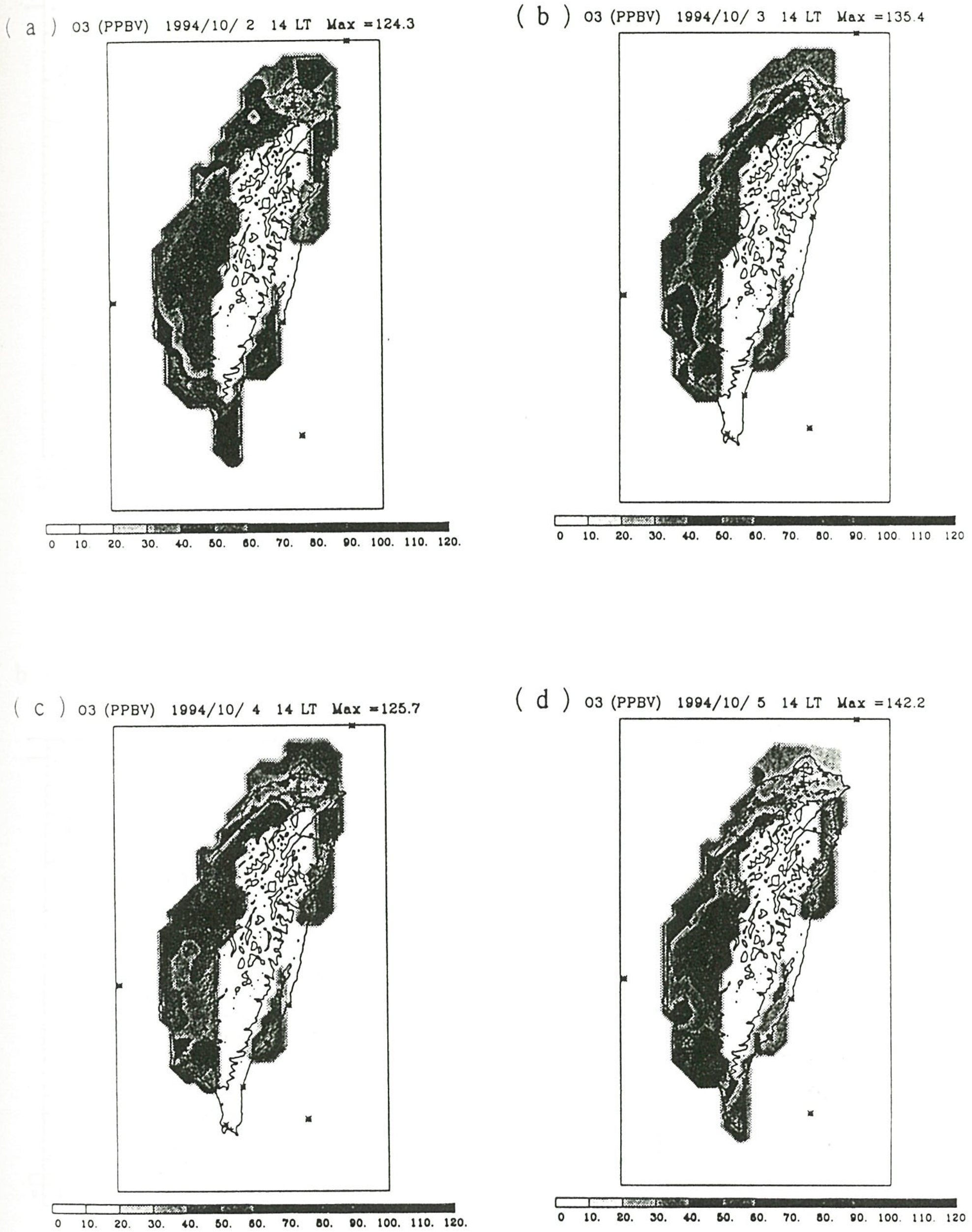
分析當時的綜觀天氣資料，圖9c、d顯示中度颱風席斯由菲律賓東方洋面迅速向西北方接近台灣，此時台灣北、東與南部均受其風場影響，但是中部與雲嘉南地區，卻受中央山脈保護，與颱風前緣下沈氣流影響，所以風速微弱，水汽少，且晴朗無雲。分析顯示10月8日盛行風應爲東北東風（澎佳嶼測站資料），不過在中央山脈西側，風速微弱，反致海陸環流明顯，這對臭氧累積非常有利。



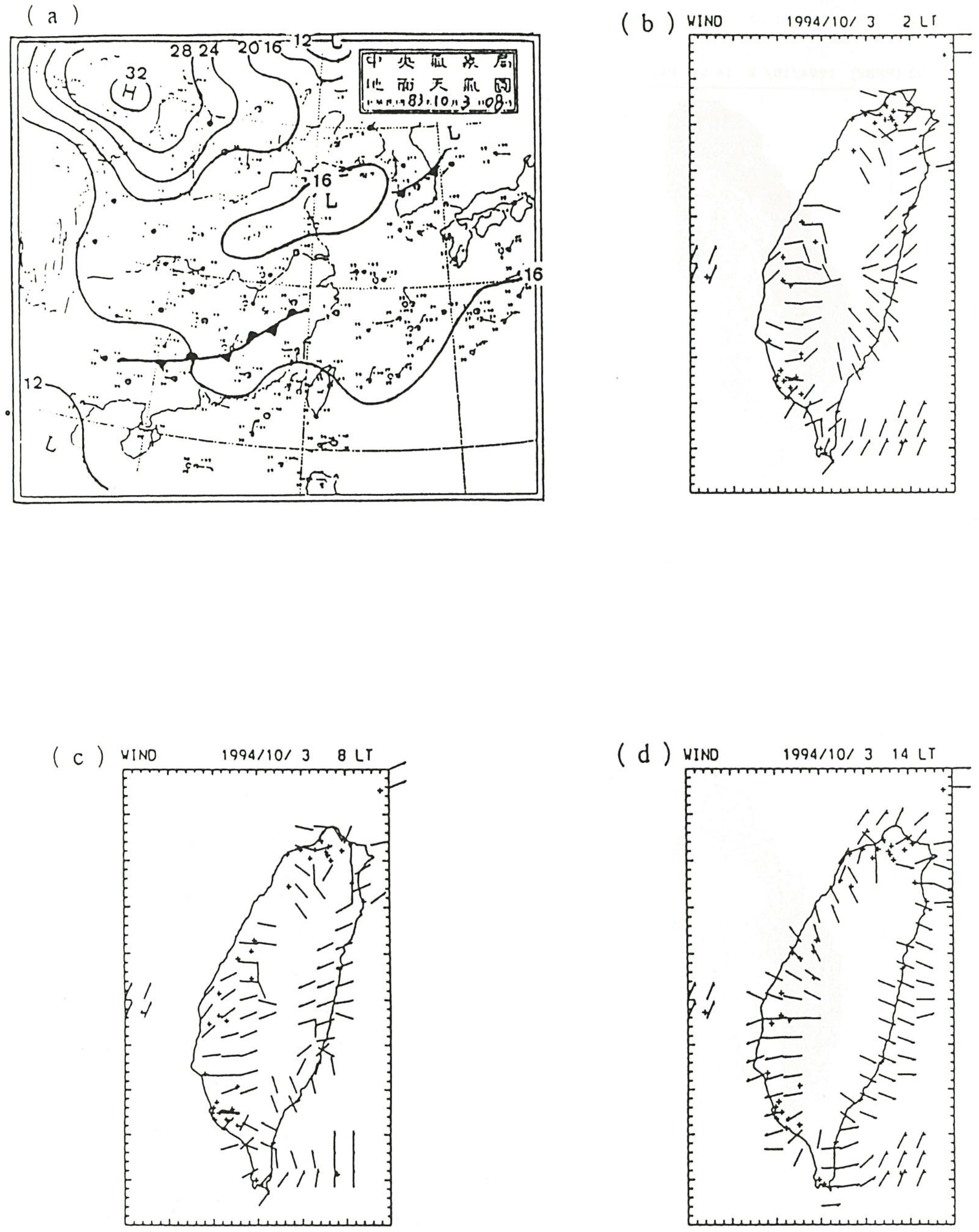
圖五：1993年10月28日(a)8時地面天氣圖，(b)2時、(c)8時與(d)14時之地面風場圖



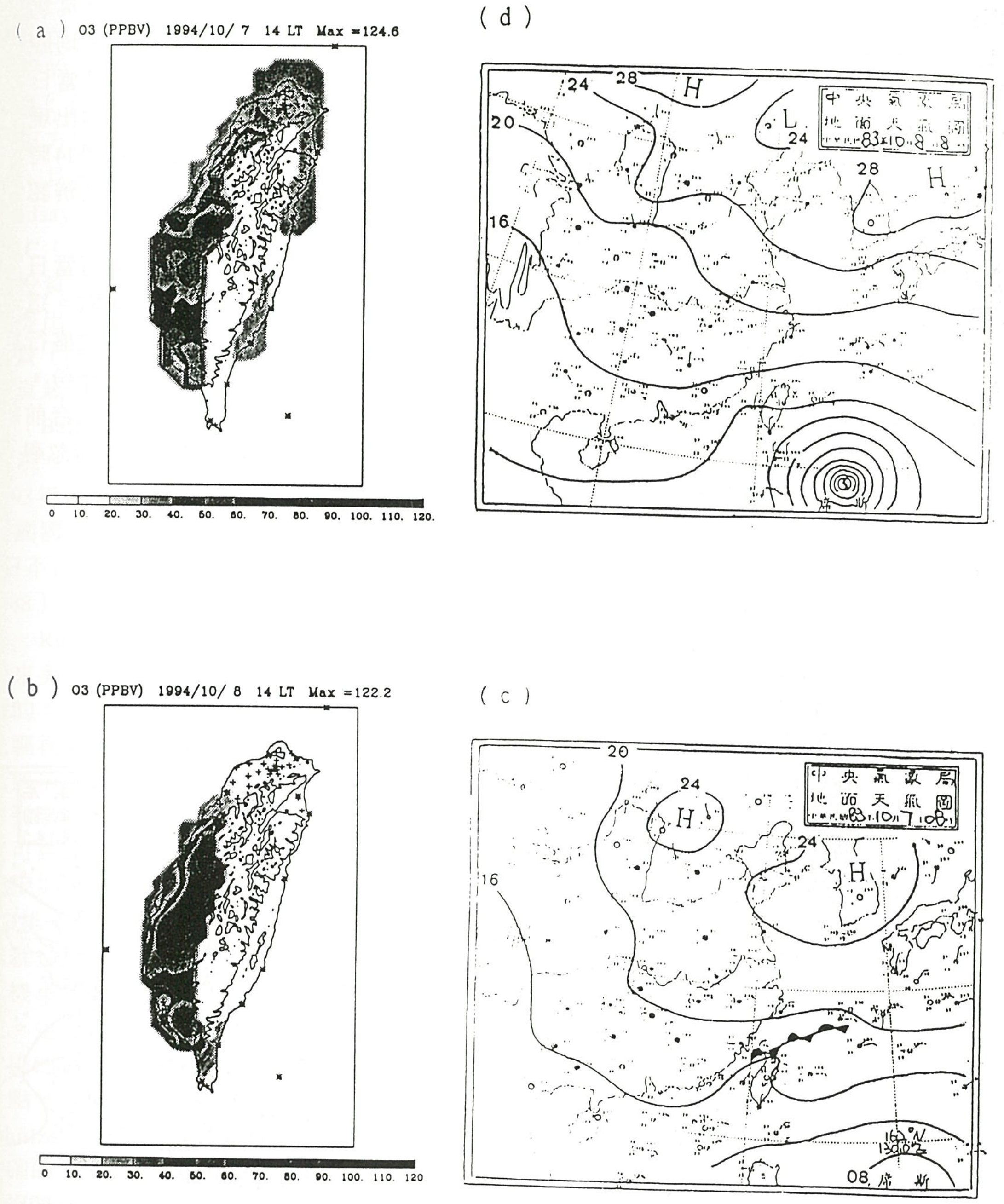
圖六：1994年6月24日(a)14時之台灣全島臭氧濃度分佈圖，(b)8時之地面天氣圖



圖七：1994(a)10月2日14時(b)10月3月14時(c)10月4日14時(d)10月5日14時
之台灣全島臭氧濃度分佈圖。



圖八：1994年10月3日(a)8時地面天氣圖，(b)2時、(c)8時與(d)14時之地面風場圖



圖九：1994年(a)10月7日14時(b)10月8日14時之台灣全島臭氧濃度分佈圖，與(c)10月7日8時(d)10月8日8時之地面天氣圖

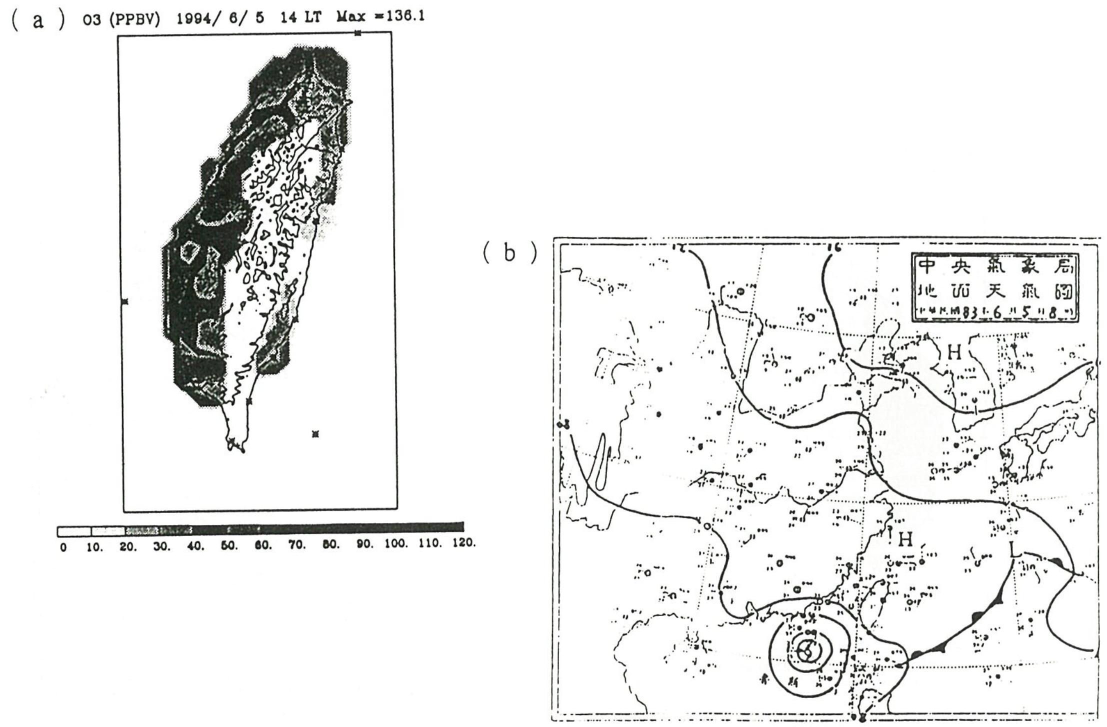
3.5 桃竹苗區－1994年6月5日

夏、秋季颱風接近台灣，其前緣之下沈氣流配合中央山脈阻擋盛行風向，經常會造成台灣某些特定地區盛行風弱、水汽少、無雲與日照强盛，而致光化污染明顯。1994年6月5日桃竹苗區臭氧光化污染明顯（圖10a），三義、豐原、西屯、忠明等站之午時臭氧濃度均超過120ppbv，最高濃度可達136ppbv（苗栗、豐原、西屯）。當時之情形爲輕度颱風魯斯位於台灣西南（圖10b），不過顯然只對台灣南部、東部與北部之天氣有明顯影響。分析顯示盛行風爲東南風（澎佳嶼測站資料），不過風速仍在2.5m/s以下，桃竹苗區風向微弱與風速低，顯然是盛行風受到地形干擾之故。

3.6 結論

本文分別選擇南部高屏地區、北部、西部地區、中部與桃竹苗區出現高臭氧光化污染個案，進行分析。大致上，均顯示單尖峰臭氧日變化型態，爲各測站當日之主要臭氧濃度變化型態。高濃度約出現於12-14時之間。另外，本文也顯示將14時臭氧濃度空間分佈圖繪出，可以作爲辨認污染分佈型態之主要依據。

氣象環流的分析，顯示污染區當日之盛行風均很微弱，且海陸環流明顯。這均顯示地形阻擋盛行風的效應，而致盛行風速低、水汽少、雲層稀薄、陽光充份，光化效應明顯。特別是颱風接近，配合前緣下沈氣流所可能造成的影響，實不容忽視。



圖十：1994年6月5日(a)14時之台灣全島臭氧濃度分布圖，與(b)8時之地面天氣圖

四、討論與建議

4.1 污染源排放控制策略探討

台灣光化污染嚴重的狀況，確實是個不爭的事實。未來吾人應加强研究的重點當是：預報、模擬與長期控制策略之研究。在這方面美國應可說是投資經費與人力最多，且執行相關計劃最久的國家。但是，Lindsay et al.（1989），Schulze（1993）與NRC（1991）就指出，美國長期數十億美元的投資，在西岸、東岸等許多重要都市，所提出之控制策略，如持續減少臭氧先驅物質（precursor）的排放，仍是無法有效抑制臭氧濃度的累積。譬如馬利蘭州巴提摩市（Baltimore）1983～1993年間就有222日出現小時O_3濃度大於120ppbv的情形，1993年一年內出現18次（Ryan, 1995）。而美國國家標準要求連續三年內絕不可出現4日不合標準的情形 (Lindsay and Chameides, 1988）！

Russell et al.（1995）特別指出，長期以來美國臭氧光化污染的控制策略是有問題的。首先，要控制臭氧，似乎就應控制先驅物質NO與VOC，但是NO是空氣中的氮與氧在高溫下反應生成，而要改善汽機車引擎的設計以減少NO的排放，其投資必定可觀，成效卻不一定明顯。因此除非是直接抑制汽機車的數量，否則是很難進行NO排放總量的控制。所以，比較可行的方式就是改善引擎與廢氣排放的設計，使得汽機車燃料經充分燃燒，以減少VOC的排放。這所以，長期以來美國對於光化煙霧污染的控制，是以抑制VOC的排放總量爲重點。但是Seinfeld (1989)、NRC (1991)、Schulze（1993）等均指出這個觀點是有待商確的，因爲NO與VOC光化反應生成臭氧的相關性，是非線性的（Lin et al., 1988），單純地減少其中一個的總量，並不保証臭氧濃度的降低。

另外，Russell et al.（1995）更指出VOC中的成分組合，可以因爲排放源特性的不同而不同，有些碳氫化合物如烯族、醛類等生成臭氧的效率，較烷族爲佳，因此若果能改變VOC的組合成分，使其中反應性差的成分增多，而反應性佳的成分減少，將更能抑制臭氧的生成。Russell et al.（1995）利用箱型光化模式，模擬試驗其所提出之假設，獲致結論爲：控制VOC成分組合的抑制策略較直接控制VOC總量的策略，能達到一倍以上的效益。

柳等（1994）就曾探究台北都會區的VOC成份，發現我國汽油中填加苯的含量較高，所以苯與甲苯所佔比例均較國外爲大。另外，空氣中正、反丁烯所佔的比例也遠較國外爲大，雖然吾人並無法辨明其來源。可是由於正、反丁烯或甲苯與OH的反應速率極高，所以台北組成的反應活性約爲洛杉磯（LA）組成的1.6倍。柳等（1994）利用箱型光化模式，發現在相同的初始環境下，台北VOC組成較LA組成能造成午時最高O_3濃度，增加約1.3～2.5倍。這個發現基本上與國外最近的見解密切配合。

未來我國當可繼續加强上述的研究，特別是應進行都會地區VOC組成成份分析，以及VOC排放源特徵調查等，以了解VOC組成成分對臭氧生成的影響，更進而提出明確的組成控制策略。

4.2 光化污染預測探討

國際間對光化污染潛勢預報的研究，仍以美國加州地區的成就最爲驚人（Cassmassi, 1987），目前該區每日均能對次日逐時的臭氧濃度變化提出預測。另外日本東京地區亦訂定出詳細的預報準則。大致上，二者均以氣象環境的掌握，配合長期監測資料之統計分析，作爲預報的依據。

我國有關光化污染預測的研究，過去主要都以大台北地區爲研究對象，曠與張（1994）分析1987-1989年夏季的空氣品質資料，指出四類易於造成台北光化污染的綜觀天氣型態，分別爲熱帶海洋性季風消退型、兩梅雨鋒之間型、高壓出海迴流型，

以及颱風過境、低壓或冷鋒接近型。曠與張（1994）並提出微弱西南風或東南風，爲二個主要造成大台北光化污染的盛行風場狀態。

Liu et al.（1994a）延續Liu et al.（1990）與Liu（1990）的研究，分析1986-1989年資料，指出7種易於造成台北光化污染的綜觀天氣型態。分別爲：

(一) 移動高壓籠罩：大陸高壓中心位於30衹以南，中國大陸邊緣，向東南方東海地區移動時。

(二) 副熱帶高壓控制：太平洋高壓向西延伸，台灣地區受高壓脊所控制。

(三) 台灣位於鋒前暖區時。

(四) 位於低壓帶之間，如ITCZ（間熱帶輻合區）北移至台灣附近時。

(五) 高壓迴流：此時大陸高壓中心位於30衹以北，黃海上空。

(六) 台灣位於具密集壓力梯度之大陸高壓系統之邊緣時，此時高壓中心在大陸北方，密集等壓線位於長江以北，台灣地區位於高壓外緣，盛行風速微弱。

(七) 弱東北季風：大陸高壓系統近似滯留於30衹以北，台灣受弱東北季風影響。

大致上，夏季時第2、3、5類天氣型態最常發生。Liu et al.（1994a）指出若使用上述7種天氣類型作爲光化污染預測的指標，約具54.5％的成功率。其次則應依據次日地面天氣預測的狀況，作進一步修正，估計預測成效可達75％以上。Liu et al. (1994a) 所建議之預測程序爲：

1. 次日綜觀類型天氣辨認，以找出符合上述7類之一的天氣特徵。
2. 刪除預測次日陰雲，甚至降雨的個案。
3. 特別注意次日最高與最低氣溫差距達5蚓以上者。
4. 當日上午8時之氣溫與午時最高氣溫預測值差距在4蚓以上者。這個現象無論出現在哪一個季節，都是表示陽光旺盛，熱力環境會影響區域性氣流發展。
5. 當日上午8、9時風速平均小於1.5m/s者。

此現象說明空氣滯留狀態。對光化污染而言，清晨陸風與午後海風間的轉換，會出現短暫的滯留狀態，配合晴朗無雲，就足以讓臭氧生成與累積達國家標準之上（柳與蘇, 1995b）。當然，若果能在事前就獲得這項氣象因子之預報數據，將更有利於預報成效之掌握。

上述的預報準則建議，僅適用於北部地區，並不適用於中、南部。因爲中南部高臭氧光化污染發生的時機與北部地區並不一致。此點在本文中已一再强調。

未來我國當更進一步加强上述的研究，特別是分區辨認綜觀氣象環境對區域環流的影響，以找出適合不同區域之光化污染發展狀況，並據以建立定性預報準則。其次，吾人當充分運用66個空氣品質監測資料，採用Ryan（1995）所强調之統計分析方法，建立定量預報模式。

4.3 整體性建議

前兩節的討論，主要强調污染源控制策略與光化污染預測的重要性。但就一個整體架構來看，全方位的光化污染問題研究（Pederson et al.,1995）應包含以下重點：

(1) 污染源排氣之碳氫化合物組合研究，包括：

《a》個別污染源調查。

《b》城市大氣之碳氫化合物組合分析，如柳等（1994）。

《c》碳氫化合物組合改變，對城市光化污染之影響分析：主要依據數值模擬或光化煙霧實驗，如柳等（1994）、Liu et al.（1994b）、Fujita et al.（1995）。

《d》污染源（特別是汽、機車）排氣之碳氫化合物組合控制：就國內之科技水準而言，吾人僅能充分收集國外相關資訊，以供後續有關控制策略設計時之參考。

《e》森林排放碳氫化合物組合與總量調查：自然排放之VOC對大範圍臭氧光化污染之生成，異常重要。（Arey et al., 1995）

(2) 臭氧光化污染之氣候統計分析，包括：

《a》臭氧光化污染之季節性與空間性變化。

《b》綜觀天氣型態對不同區域之光化污染發展探討。（Ludwig et al., 1995）

《c》光化污染事件發生時之臭氧濃度與其他氣象或大氣化學因子之統計相關模式建立。

(3) 光化污染事件（Episode）之預測，包括：

《a》定性預報準則之建立。

《b》定量預報模式之建立。

(4) 長程傳送之研究，包括：

《a》光化污染事件發生時上游污染源之辨認。

此問題需仔細澄清。基本上，光化污染的發生，乃是一次污染物NO與VOC，經充分光化反應後，才會在午時出現臭氧高濃度狀態。因此，高污染出現地點（receptor），不一定是高污染排放源（source）。以台灣北部萬里濱海測站爲例，每年暑假都會出現臭氧污染事件，簡單的氣流傳送分析，可以了解臭氧前驅物質NO與VOC，應是來自台北地區。入夜後的陸風將污染物輸送至海洋上，盛行的西南風再配合午時的海風，就將經充分光化反應生成的臭氧，輸送到台灣西北與北部海岸地區。

《b》飛航與密集氣象環流測量。

收集充分之相關資料，一方面更加了解source-receptor間的關係，另一方面提供數值模擬之驗證使用。Macpherson et al.（1995）

(5) 光化數值模擬之發展，包括：

《a》箱型光化模式，以供概念性控制策略之使用，如柳等（1990）、柳與盧（1991）。

《b》都市區域性光化模式，以供都市區光化污染預測與控制策略之分析，如柳（1992,1993b）、曠與張（1994）等。

《c》台灣區域空氣品質模式，可以鄭與張（1995）的研究成果爲出發點，特別强調台灣地區區域性長程傳送的影響分析。這對污染控制策略的擬定亦有相當協助。

(6) 整體控制策略之思考，包括：

《a》個別污染源控制策略之擬定，譬如汽、機車、油漆行、液態瓦斯站等之管制。

《b》高污染事件之掌握，與短期小區域污染源控制策略之擬定。若能明確訂定出source-receptor的相關性，當預測高污染事件將發生時，可以短期小區域污染源的控制策略達到抑制污染的目標。基本上，這個策略較管制汽機車VOC排放更爲經濟有效（Ryan, 1995）。

《c》控制策略之經濟與健康保護成效評估。

以上本文之整體討論，主要期望國內環保界在推動相關研究與行政工作時，能注意到我國汽、機車持續成長，所造成的二次光化污染問題，已非小區域現象，而是大範圍全島現象。其不僅持續影響人體健康，也對生態環境發展造成相當衝擊。因此基礎學術理論研究與應用工程技術研究，甚至政策控制策略研究，應充分交流合作，以合理利用國內有限之人力與資源，達到預期之整體目標。

誌　謝

本文乃在環保署計劃EPA85-1003-09-15支持期間完成，作者們特別感謝李侃翰先生與李敏瑜小姐之協助。

引用文獻

柳中明，林欣慕，沈世宏，李昌衡，劉紹臣，方淑慧，1990：臭氧光化生成與台北盆地區域性環流。工業污染防治，

33，28-57。

柳中明，盧開新，1991：箱型光化模式之初步發展驗證與應用。大氣科學，19，33-65。

柳中明，1992：一維垂直光化模式之研究與應用。大氣科學，20，119-134。

柳中明，1993a：台灣的臭氧光化污染分析。台灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會，1993年4月。

柳中明，1993b：水平傳送對大台北地區光化生成臭氧的研究。大氣科學，21，1-22。

柳中明，李清勝，1994：台灣地區空氣品質監測資料分析與空氣品質預報技術探討。環境監測與指標系統研討會，1994年5月31日～6月4日。

柳中明，蔡育文，左台利，羅俊光，劉紹臣，1994：碳氫化合物組合與近地面臭氧生成。大氣科學，22，431-453。

柳中明，蘇維中，1995a：大台北與大高雄地區區域風場與高臭氧生成之相關分析。第三屆海峽兩岸環境保護學術研討會，1995年8月28-31日，中國北京。

柳中明，蘇維中，1995b：區域風場與高臭氧污染之相關。（投稿大氣科學）

曠永銓，張能復，1994：台灣北部夏季光化污染事件之數值模擬研究。中國環保，19，22-29。

鄭福田，張時禹：台灣地區酸雨調查評估與防治之規劃：（二）空氣污染物跨區或跨國輸送與酸雨形成關係之研究。EPA-84-E3F1-09。

Arey, J., D. E. Crowley, M. Crowley, M. Resketo and J. Lester. 1995. Hydrocarbon emissions from natural vegetation in California's South Coast Air Bosin. Atmos. Environ, 29, 2977-2988.

Cassmassi. J. C. 1987. Development of an objective ozone forecast model for the southern coast air basin. 80th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association. New York, 21-26 June 1987.

Fujita, E. M., J. G. Watson, J. C. Chow and Magliano. 1995. Receptor model and emissions in inventory source apportionments of nonmethane organic gases in California's San Joaquin Valley and San Francisco Bay Area. Atmos. Environ, 29, 3019-3036.

Lin, X., M. Trainer and S. C. Liu. 1988. On the nonlinearity of the tropospheric ozone production. J. Geophys. Res., 93, 15879-15888.

Lindsay, R. W. and W. L. Chameides. 1988. High-ozone events in Atlanta, Georgia, in 1983 and 1984. Environ. Sci. Techno1., 22, 426-431.

Lindsay, R. W., J. L. Richardson and W. L. Chameides. 1989. Ozone trends in Atlanta, Georgia: Have emission controls been effective? J. Air Pollut. Control Assoc., 39, 40-43.

Liu, C.M. 1990. A study of the meteorological environment during ozone build-up in Taipei. 3rd Int. Conf. Atmospheric Science and Application to Air Quality (ASAAQ), Shanghai, China, 15-19 October, 1990.

Liu, C.M., S.C. Liu and S.H. Shen. 1990. A study of Taipei ozone problem, Atmos. Environ., 24A, 1461-1472.

Liu, C. M., C. Y. Huang, S. L. Shieh and C. C. Wu. 1994a. Important Meteorological parameters for ozone episodes experienced in Taipei basin. Atmos. Environ., 28, 159-173.

Liu, C.M., Y.-W. Tsay and S. C. Liu. 1994b. A modelling approach to the understanding of the photochemical pollution in Taiwan and control strategies. 7th IUAPPA Regional Conference in Air Pollution and Waste Issues. Nov. 2-4, 1994. Taipei, R.O.C.

Liu, C. M. and C. Y. Young. 1995. An analysis of Taiwan surface ozone (1988-1993). J. Environ. Protection Soc. of R.O.C., 18, 15- 30.

Ludwig, F. L., J. -Y. Liang and J. Chen. 1995. Classification of ozone and weather patterns associated with high ozone concentrations in the San Francisco and Monterey Bay Area. Atmos. Environ., 29, 2915-2928.

Macpherson, J. I., R. L. Desjardins, P. H. Schuepp and R. Pearson Jr. 1995. Aircraft-measured ozone deposition in the San Joaquin Valley of California. Atmos. Environ., 29, 3133-3146.

National Research Council. 1991. Rethinking the Ozone Problem in the Urban and Regional Air Pollution. National Academy Press, Washington, D.C.

Pederson, J. R., et al. 1995. California Ozone Deposition Experiment: methods, results and oppertunities. Atmos. Environ., 29, 3115-3132.

Russell, A., J. Milfoed, M. S. Bergin, S. McBride, L. McNair, Y. Yang, W.R. Stockwell and B. Croes. 1995. Urban ozone control and atmospheric reactivity of organic gases. Science, 269, 491-495.

Ryan, W.F. 1995. Forecasting severe ozone episodes in the Baltimore metropolitan area. Atmos. Environ., 29, 2387-2398.

Schulze, R.H. 1993. The 20-year history of the evolution of air pollution control regulation in the U.S.A. Atmos. Environ., 27B, 15-22.

Seinfeld, J. H. 1989. Urban air pollution: State of the science. Science, 243, 745-752.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 33-40, 1996

台灣地區光化學煙霧污染及其影響

孫岩章 詹婷婷
國立台灣大學植物病蟲害學系環境病害研究室

內 容

摘要 …… 34
英文摘要 …… 35
前言 …… 35
材料與方法 …… 36
結果 …… 37
討論 …… 38
引用文獻 …… 38

台灣地區光化學煙霧污染及其影響

孫岩章　詹婷婷

國立台灣大學植物病蟲害學系環境病害研究室

摘　要

過去五年來光化學煙霧導致的空氣污染已被證實會造成植物出現病徵，而在本省此一問題已出現在台北、台中、高雄、嘉義等四個都會地區。其中危害植物之主要污染物爲臭氧、過氧硝酸乙醯酯(peroxyacetyl nitrate, 簡稱PAN)及過氧硝酸丙醯酯(peroxypropionyl nitrate, 簡稱PPN)等三種。有關臭氧之病徵已可見於煙草、葉用甘薯、菠菜、番茄、白菜等，其造成病徵之臨界劑量爲40-60 ppb。PAN與PPN之病徵則可見於劍葉萵苣、圓葉萵苣、龍葵、小米菊、菠菜、菾菜、野生菸草、矮牽牛、芫荽、九層塔等，其造成病徵之臨界劑量爲4-6 ppb。PPN以往之研究較少，經利用氣相層析儀配合電子捕捉檢知器測定之結果發現在台北市重度污染的日子方可檢測到PPN之存在，在1994-1995 年中濃度最高爲1995年1月21日檢測到之1.5 ppb。調查PPN 與PAN間濃度之關係可得一迴歸公式Y(PPN/ppb)＝0.093X(PAN/ppb)－0.12。在溫室之連續攪拌燻氣箱(Continuously stirred tank reactor)中以人造PPN處理劍葉萵苣、龍葵、小米菊、雙福種番茄之結果發現2-3 ppb已足以對敏感品種造成危害。PPN造成的病徵與PAN者卻無法相區分，但PPN之毒性約爲PAN之二倍以上，由於大氣中PPN與PAN同時存在，故要區分植物之受害是否爲單一因子所引起實非常困難。在研究方法方面目前PAN與PPN已可在實驗室中自行合成製造，而監測濃度之校正亦已可用Sun & Su之產氣機配合氮氧化物分析儀進行之。目前有關PAN、PPN與臭氧間是否具協力或交感效應等仍需在未來加以研究之。

關鍵詞：光化學煙霧，臭氧，過氧硝酸乙醯酯，過氧硝酸丙醯酯。

Photochemical Pollutants in Taiwan and Their Effects on Vegetation

En-Jang Sun and Ting-Ting Chan (Environmental Impacts Research Lab., Department of Plant Pathology and Entomology, National Taiwan University)

ABSTRACT: During the past five years, photochemical smog problems were found to cause many injury symptoms on vegetation in Taipei, Taichung, Kaohsiung, and Chiayi urban areas. The major pollutants include ozone, peroxyacetyl nitrate (PAN) and peroxypropionyl nitrate (PPN). Ozone-type symptoms had been found on tobacco, leafy sweet potato, spinach, peanut, tomato, and Chinese cabbage. The

threshold concentrations were 40-60 ppb. PAN- and PPN-type symptoms had been found on Sword-leaf lettuce, Round-leaf lettuce, black nightshade, quickweed (*Galinsoga parviflora*), spinach, Swiss chard, *Nicotiana excelsior,* petunia, Chinese parsley, and sweet basil. The threshold concentrations were 4-6 ppb. PPN was not studied enough in the past. It was found to exist in urban atmosphere only on heavily smoggy days in Taipei basin area. The measuring method is similar to that for determining peroxyacetyl nitrare. The highest concentrations measured in the period from July 1994 to June 1995 was 1.5 ppb (V/V) occurring on January 21, 1995. There is a linear relationship between PPN and PAN as Y(PPN/ppb)＝0.093X(PAN/ppb)－0.12, based on real measurement data. Exposure of Sword-leaf lettuce, black night-shade, quickweed and Double-fortune tomato to man-made PPN in continuously stirred tank reactor (CSTR)in greenhouse, showed that 2-3 ppb is phytotoxic for the sensitive species. The PPN-induced symptoms were indistinguishable from those caused by PAN. The gas-phase calibration is also feasible by using Sun & Su's gas generator and a nitrogen oxides analyzer. The interaction among PAN, PPN and ozone is still necessary to be investigated in the future.

Key words: Photochemical smog, ozone, peroxyacetyl nitrate, peroxypropionyl nitrate.

前　言

光化學煙霧(Photochemical smog)是當今許多國家空氣污染中最大的問題，因爲其中所含的臭氧和過氧硝酸醯酯類(Peroxyacyl nitrate, 簡稱PANs)皆對人體及植物有害(孫，1993; 孫，1995; Altshuller, 1983; Altshuller, 1993; Roberts, 1990)。在台灣，PANs中的過氧硝酸乙醯酯(Peroxyacetyl nitrate, 簡稱PAN)及過氧硝酸丙醯酯(Peroxypropionyl nitrate, 簡稱PPN)已於1989年被發現在萵苣上造成典型可見病徵(孫，1993; Sun, 1994)，而大氣中之PAN 及PPN之濃度則於1992年6月起開始被監測到(孫，1993; 黃，1993; 詹，1995; Sun & Huang, 1995)。

至於有關臭氧爲害植物之研究最早應是在1960年代末期，因爲那時候在部份地區之菸葉上曾出現了一類似臭氧造成的細點斑(宋等，1973; 萬，1968)，此種斑點與美國在1959年證實爲臭氧所引起的斑點(Heggestad & Middleton, 1959; Heggestad, 1991)相同，因而引起台灣省菸葉試驗所之注意。隨後台灣省菸葉試驗所乃特別邀請了兩位從美國馬里蘭州(Maryland)之專家，Dr. O. E. Street 及Dr. H. A. Menser，前來台中地區進行研究，以期證實其眞正之病因。因那時有關臭氧濃度之直接監測仍乏人進行，故彼等係以在美國選育出之Bel-W3菸草做爲臭氧之指標植物(Heggestad, 1991)，分別試種於經活性炭過濾之塑膠箱(PE chamber)與未經活性炭過濾之塑膠箱，結果發現後者之植株出現了前者所無之斑點，故證實此些叫做氣候斑(weather fleck)之斑點確實係與空氣污染有關(宋等，1973)。另外在田間利用Bel-W3指標植物之驗證亦肯定此一假說，其結果已發表於Tobacco Science(Street *et al.,* 1971)，以上證實台灣地區早在1968年即已有臭氧污染的問題。其年代約比台灣地區第一個環保機構成立之年代(1982)早了14年。

但因有部份學者一直認爲濾過性病毒與缺磷等亦是造成菸葉出現氣候斑的重要因子(吳，1975；吳，1976)，且其重要性比臭氧大，再加上那時台灣地區主要之菸草品種萬

國士(Vam-Hicks) 等受害並不嚴重，故有關臭氧空氣污染之研究計畫漸告中斷，直到1992年11月方再證實台北地區之臭氧在某些時日確實可達致害濃度(孫及蔡，1993)。惟病徵類型與PAN者完全不同，受害植物種類亦有極大差異，例如一種葉用甘藷及菠菜中某些品種便是較常在田間看到臭氧型病徵的品種(Sun, 1994)。但隨後的驗證發現臭氧之濃度若高至100 ppb以上則包括菸草、番茄及花生等亦皆可能出現病徵。目前總計田間之受害者有煙草、葉用甘薯、菠菜、落花生、番茄、白菜等，其造成病徵之臨界劑量爲40-60 ppb(詹，1995; Sun & Tsai, 1994)。在PAN與PPN方面，目前總計之受害者爲劍葉萵苣、圓葉萵苣、龍葵、小米菊、菠菜、莃菜、野生煙草、矮牽牛、芫荽、九層塔等，其造成病徵之臨界劑量爲4-6 ppb(詹，1995; Sun & Huang, 1995)。

在PAN之空氣品質方面，由於目前台灣地區只有一個屬於台大植病系之氣相層析儀在台北市進行監測，故其監測資料可謂彌足珍貴。該監測站自1992年6月設妥以來，共已監測了兩年，成果已發表者有孫(1993)，黃(1993)，Sun & Tsai(1994)及Sun & Huang(1995)等。綜合分析此些PAN濃度可發現在屬於重度煙霧污染的白天正午時分，台北地區之PAN多在4~5 ppb以上，而最高可達27 ppb，由於4~5 ppb是目前台灣地區敏感品種受害所需之最低臨界劑量(黃，1993; 詹，1995; Sun & Huang, 1995)，故只要所測之PAN小時平均值超過4~5 ppb，翌日即多可見到PAN型病徵。而這種重度污染的日數似隨著季節而有增減，一般在冬季或雨季，每月之重度污染日數約爲0～3日，但在春季日數便告增加，至夏季則重度污染之日數更多，但高峰濃度值卻有下降之趨勢(黃，1993; Sun & Huang, 1995; Sun & Tsai, 1994)。其原因相信是與PAN不耐高溫，且高溫有利於臭氧之生成，不利於PAN之累積有關(Peake & Sandhu, 1983)。

台灣受光化學煙霧爲害的區域面積，經由田間調查發現可廣達兩千平方公里以上，其中包括台北盆地約五百平方公里，台中盆地含台中、彰化與南投在內約四百平方公里，高雄、屏東與台南等都會區一千兩百平方公里(孫，1993)，以及嘉義地區。在上述地區，敏感植物如龍葵、萵苣均可出現葉部受PANs爲害的病徵，包括葉下表面之亮銅斑(Bronzing)、銀白斑(Silvering)及亮光斑(Glazing)。

在PANs中，究竟PAN與PPN二者之關係爲何是一個甚值得探討的問題，尤其一般認爲PPN的濃度雖較PAN爲低，但對植物的毒性卻比PAN高出數倍(Altshuller, 1993)，因此以往在國外PANs發生的地區即有學者針對二者之濃度加以比較，例如Singh即在加州比較得知一般PPN約爲PAN濃度之3-14%，平均約爲8%(Singh, 1987; Singh & Salas, 1989)，而且得知在都會地區PPN/PAN之值高於非都會地區者(Singh & Salas, 1989)。另外Grosjean & Bytnerowicz (1993)則歸納加州洛杉磯東北方35公里之800m山上監測所得資料認爲PPN/PAN之值在1989年爲0.28、1990年爲0.18、1991年爲0.19，但在1989年PAN最大值爲5.1 ppb，1990年爲4.3 ppb。而在加拿大Ontario，Shepson *et al.* (1992)亦證明PPN濃度約爲PAN之8-11%。

PPN之濃度在郊區一般較低，如Grosjean & Williams(1992) 在1989-1990監測洛杉磯東方20公里與東南東90公里之PPN濃度，發現PPN最大值分別爲0.73 ppb 及0.42 ppb。

由於本省地區有關PPN之濃度以往較缺乏完整之資料，故本研究即針對台北地區之PPN加以監測，並且以人工合成之方式製備PPN，配合產氣機及熏氣箱使用對植物進行人工熏氣，以了解PPN之生成，比較兩污染物之相關分析，以供未來建立PPN預測模式之參考。

材料與方法

1. 大氣中過氧硝酸丙醯酯(PPN)濃度之測定

大氣中PPN之測定係利用氣相層析儀

(Gas chromatograph, 簡稱GC)配合電子捕捉檢知器(Electron capture detector, 簡稱ECD)加以分析、測量(孫，1993; Katz, 1977; Singh, 1987)。本研究所採用的GC機型爲Varian 3400型，搭配Ni63型之ECD，而層析柱(Column)爲長100cm，內徑1/8 inch之鐵弗龍管，載運氣體(Carrier gas)爲高純度氮氣(N_2)，層析時N_2流量保持在40 ml/min，因PPN易受熱分解，故注射器溫度、層析柱溫度及ECD溫度皆設定在32℃，以避免樣品於分析過程中分解。在低雲量、低風速的日子，由上午10時開始至下午2時，每15分鐘以玻璃針筒採樣一次，每次對大氣抽取2 ml之空氣後直接打入GC，由積分儀顯示ECD所得訊號面積計算出PPN之濃度，一般PPN的滯留時間爲1.9分鐘。

2. PPN人工合成與校正

PPN的人工製造係參考Gaffney *et al.* (1984)之方法，首先由丙酸加入硫酸及過氧化氫反應成過氧丙酸，再由過氧丙酸溶入正十三烷(n-tridecane)，再加入硝酸硝化而生成溶於n- tridecane之PPN。目前PPN測定值之校正採用氮氧化物分析儀校正法(Joos & Landolt, 1986)，其主要原理係利用該儀器中之觸媒轉化器，在325℃下將PPN(亦可能包括NO_2或其他有機氮化物)轉換成一氧化氮，然後利用臭氧與一氧化氮反應放光原理，測知一氧化氮含量，再算出PPN之含量。

3. PPN人工熏氣試驗

熏氣設備係利用設於台灣大學玻璃溫室內之連續攪拌熏氣箱(Continuously stirred tank reactors, CSTRs)，其形狀爲圓柱型，直徑120 cm，高度180 cm，以透明至壓力材質包被，造成負壓，將外界空氣經活性碳過濾後抽入熏氣箱內，以維持CSTRs中氣體濃度之穩定，其詳細構造可參考SUN(1990)之報告。PPN氣體的產生係以液態PPN溶液經過Sun and Su(1985)設計之定量揮發產氣機，於CSTR箱外產製PPN氣體，再以送氣機送入箱內，然後每15分鐘抽取箱內接近植物等高之空氣2 ml，打入GC-ECD加以分析、測定其實際處理濃度。所用植物爲對光化學煙霧敏感的指標植物，包括劍葉萵苣(*Lactuca sativa* L. cv. Sword Leaf)、雙福番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill cv. Double Fortune F1 hybrid)、龍葵(*Solanum nigrum* L.)和小米菊(*Galinsoga parviflora* Canv.)，皆種入直徑18 cm之花盆中，土壤成分爲土、根基旺人工栽培介質和沙以3：3：1之比例混合，並添加台肥二號有機質肥料每盆30 g作爲基肥，其成分爲有機質60.0%，全氮4.0%，全磷酐4.0%及全氧化鉀4.0%。熏氣時間一般選擇在晴天日子進行，CSTR中溫度維持在25- 34℃之範圍，相對濕度爲60-85%之間，植物所接受的光照則在10,000 Lux以上。實驗完成後，即將植物移入溫室中，繼續觀察其病徵反應情形。

4. 大氣中PAN與PPN之相關分析

有鑑於高污染日子同時有PAN與PPN之存在，因此爲充分掌握PPN之污染情形，乃同時監測PAN之濃度再分析大氣中PAN與PPN兩者濃度之關係。本研究中係選發生重度光化學污染之日子，測得PAN與PPN兩者之濃度，再求取兩者間相關係數及迴歸方程式。

結　果

1. 大氣中PPN濃度之監測

本研究經多次嘗試，目前已能以人工方法合成PPN，因此，配合Sun & Su(1985)之熏氣設備，已能製出PPN氣體，並利用NOx分析儀校正GC-ECD之測值。此些技術之建立已讓吾人可以順利測知大氣中PPN之濃度及熏氣試驗中PPN之實際濃度。經過長達一年在台北地區之監測，發現台北盆地在日照强烈、天氣晴朗、無風或微風的天候下，大氣中即可監測到PAN，但只有在高污染日才可檢測到PPN。在過去一年中發現只有3日有顯著PPN之出現，即分別爲

1994年6月24日、8月27日及1995年1月21日。在這三次紀錄之中最高濃度爲1995年1月21日之1.5 ppb。

2. PPN人工熏氣結果

四種植物包括劍葉萵苣、雙福番茄、龍葵和小米菊，在CSTR內經由人工PPN熏氣之處理，包括：3 ppb×3小時、10 ppb×2小時、及30 ppb×3小時，結困發現在3 ppb處理下，即可出現明顯可見病徵，造成葉部受害。

敏感性的植物如小米菊和龍葵，在熏氣處理開始後過約一小時，即可在葉下表面出現水浸狀的病徵，數小時至翌日，病徵立刻轉爲壞疽，顯現出亮銅或亮光性病斑，再過數日部份葉片開始萎黃，且有植株生長遲滯的現象。

3. 大氣中PAN與PPN之相關分析

有鑑於高污染日子會有PPN的累積出現，乃以1994年6月24日與1995年1月21日共18筆資料分析PAN濃度與PPN濃度的迴歸方程式，得到結果爲：Y(PPN)=0.093X(PAN)－0.12，而相關係數則大於0.99，顯示PAN濃度與PPN濃度間具有高度正相關性存在。

討　論

由台北地區PPN之監測資料可知，當大氣出現PPN之時，光化學煙霧的污染已達到相當嚴重之程度，在本年中可檢出PPN之日子爲1994年6月24日、8月27日及1995年1月21日，其紀錄之最高濃度爲1月21日之1.5 ppb，且出現於中午時分。

由1994-95之監測資料發現PPN與PAN之關係爲(PPN)=0.093(PAN)-0.12。此顯示一般PPN濃度約爲PAN的9%，此一比值與美國加州所得知8%(Singh, 1987; Singh & Salas, 1989)極爲接近，而較洛杉磯東北方山區之18-19%比值爲低。但與加拿大Ontario之8-11%極接近。因而吾人似可得知台北之大氣污染中PPN/PAN之關係似與美國及加拿大者極爲相同。

至於1994-1995之最大值1.5 ppb雖較美國洛杉磯東北方山區之4.3-5.1 ppb爲低，但孫在1993年2月(孫，1993)曾測出有1.9ppb之PPN，因此吾人相信台北之PPN在其他年份可能有更高之監測值。

進一步於溫室利用CSTRs對此四種植物劍葉萵苣、雙福番茄、龍葵和小米菊，進行人工模擬熏氣試驗，發現植物對PPN的敏感度大小爲：小米菊>龍葵>劍葉萵苣>雙福番茄，可出現病徵之最低劑量爲3 ppb處理三小時。研究期間亦曾將此些植物進行PAN人工熏氣，結果發現PAN與PPN對植物造成的病徵並無區別，二者皆爲葉背亮銅斑、亮光斑或銀白斑。唯人工熏氣可出現病徵最低劑量在PAN爲4-6 ppb處理三小時，因此PPN之毒性約爲PAN之二倍以上。

一般發生光化學煙霧時，主要污染物除臭氧外，在PANs方面係以PAN爲主，但仍可能有PPN之發生，因此兩者或三者並存對植物的影響是否爲協力作用(Synergism)，導致植物之病徵加重，或爲拮抗作用(Antagonism)，因而病徵減輕，還是互不影響，是爲另一值得探討的課題。

引用文獻

宋繼修、陳輝煌、吳壬癸 1973 污染空氣與氣候斑發生之關係。台灣菸酒公賣局菸業試驗所研究彙報。2:38-41。

吳壬癸 1975 空氣污染物對菸草斑點病發生之影響研究。台灣菸酒公賣局菸業試驗所研究彙報。4:42-67。

吳壬癸 1976 空氣污染物與菸草脈綠嵌紋病壞疽斑發生關係之研究。台灣菸酒公賣局菸業試驗所研究彙報。5:62-70。

孫岩章 1993 台灣地區過氧硝酸乙醯酯污染物對萵苣之影響。植物病理學會刊 2: 33-42。

孫岩章 1994 環境污染與公害鑑定。科技圖書公司。297pp。

孫岩章、蔡孟君 1993 臭氧污染對植物之

影響。農業環境品質整體規劃研討會論文專集。pp.73-89。

黃明輝 1993 台北地區過氧硝酸乙醯酯對植物爲害之研究。國立台灣大學植物病蟲害學研究所碩士論文。114pp。

詹婷婷 1995 台灣地區光化學煙霧之生物監測。國立台灣大學植物病蟲害學研究所碩士論文。87pp。

萬雄 1968 污染空氣與菸草斑點病。菸酒業務 11(4):11-25。

Altshuller, A. P. 1983. Measurements of the products of atmospheric photochemical reactions in laboratory studies and in ambient air relationships between ozone and other products. Atmosph. Environ. 17:2383-2427.

Altshuller, A. P. 1993. PANs in the atmosphere. J. Air Waste Manage. Assoc. 43: 1221-1230.

Gaffney, J. S., R. Fajer and G. I. Senum. 1984. An improved procedure for high purity gaseous peroxyacyl nitrate production: Use of heavy lipid solvents. Atmosph. Environ. 18: 215-218.

Grosjean, D. and A. Bytnerowicz. 1993. Nitrogenous air pollutants at a southern California mountain forest smog receptor site. Atmosph. Environ. 27A:483-492.

Grosjean, D. and E. L. Williams II. 1992. Photochemical pollution at two southern California smog receptor sites. J. Air. Waste. Manage. Assoc. 42:805-809.

Heggestad, H. E. and J. T. Middleton. 1959. Ozone in high concentrations as a cause of tobacco leaf injury. Science 129:208-210.

Heggestad, H. E. 1991. Origin of Bel-W3, Bel-C and Bel-B tobacco varieties and their use as indicators of ozone. Environ. Pollut. 74:264-292.

Joos, L. F. and W. F. Landolt. 1986. Calibration of peroxyacetyl nitrate measurements with an NOx analyzer. Environ. Sci. Technol. 20:1269-1273.

Katz, M. 1977. Methods of Air Sampling and Analysis. 2nd ed. Amer. Publ. Health Assoc. 984pp.

Peake, E. and H. S. Sandhu. 1983. The formation of ozone and peroxyacetyl nitrate (PAN) in the urban atmospheres of Alberta. Can. J. Chem. 61:927-935.

Roberts, J. M. 1990. The atmospheric chemistry of organic nitrates. Atmosph. Environ. 24A: 243-287.

Shepson, P. B., D. R. Hastie, K. W. So, H. I. Schiff and P. Wong. 1992. Relationships between PAN, PPN and O_3 at urban and rural sites in Ontario. Atmosph. Environ. 26A:1259-1270.

Singh, H. B. 1987. Reactive nitrogen in the troposphere. Environ. Sci. Technol. 21: 320-327.

Singh, H. B. and L. J. Salas. 1989. Measurements of peroxyacetyl nitrate (PAN) and peroxypropionyl nitrate (PPN) at selected urban, rural and remote sites. Atmosph. Environ. 24:231-238.

Street, O. E., C. H. Sung, H. Y. Wu and H. A. Menser, Jr. 1971. Studies on weather fleck of tobacco in Taiwan. Tobacco Science 15:128-131.

Sun, E. J. 1990. Sorption of three major air pollutants by bean plants. J. Environ. Prot. Soc. R.O.C. 13:39-50.

Sun, E. J. 1994. Ozone injury to leafy sweet potato and spinach in northern Taiwan. Bot. Bull. Acad. Sinica 35:165-170.

Sun, E. J. 1994. Air pollution injuries to vegetation in Taiwan. Plant Dis. 78:436-440.

Sun, E. J. and M. H. Huang. 1995. Detection of

peroxyacetyl nitrate at phytotoxic level and its effects on vegetation in Taiwan. Atmosph. Environ. 29:2899-2904.

Sun, E. J. and H. J. Su. 1985. Fluoride injury to rice plants caused by air pollution emitted from ceramic and brick factories. Environ. Pollut. 37A:335-342.

Sun, E. J. and M. C. Tsai. 1994. Photochemical smog in Taiwan and its effects on vegetation. Pages 145-152 in Proc. 7th IUAPPA Regional Conf. Air Pollut. Waste Issues, Nov. 2-4, 1994, Taipei, Taiwan, Vol.3

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 41-52, 1996

臺灣地區空氣污染指標植物觀測區及資料庫之建立

申　雍[1]　謝慶芳[2]

[1]國立中興大學土壤環境科學系　[2]臺灣省臺中區農業改良場

內　容

摘要 …… 42
英文摘要 …… 42
前言 …… 42
材料與方法 …… 43
結果與討論 …… 47
誌謝 …… 51
引用文獻 …… 51

臺灣地區空氣污染指標植物觀測區及資料庫之建立

申 雍[1] 謝慶芳[2]

[1]國立中興大學土壤環境科學系 [2]臺灣省臺中區農業改良場

摘 要

由於臺灣地區空氣污染情形日漸嚴重，為瞭解農業地區是否遭受由都市或工業區釋出之空氣污染物質的影響，本年度於全省設立24個空氣污染指標植物觀測區，以進行長期系統性的監測。所有觀測區均採用統一的觀測方法，記錄指標植物的徵狀，並每季採取植物樣品進行化學分析，以判別空污的種類。各觀測區指標植物的徵狀調查及化學分析資料，均可輸入電腦資料庫中，以利資料之存取及分析使用。由建立之指標植物觀測區與資料庫，不僅可以瞭解當地空氣污染的情形，以補環保署現有空氣品質監測站之不足，長期的監測記錄還可用於判斷當地空污改善或變劣之趨勢與程度。

關鍵詞：空氣污染，指標植物，資料庫

Establishment of Observation Plots and Database of Indicator Plants for Air Pollution in Taiwan

Yuan Shen[1] and Ching-Fang Hsieh[2] ([1]Department of Soil and Environment Science, National Chung-Hsing University, Taichung and [2]Taichung District Agricultural Improvement Station, Chunghwa, Taiwan, ROC)

ABSTRACT：Air pollution in Taiwan is becoming a serious problem. In order to understand whether agricultural land has been affected by air pollutants emitted from metropolitan area or industrial parks, a network of 24 indicator plant plots has been established this year. Plant symptoms were recorded under the same observation schemes at all observation plots. Samples were taken every 3 month for chemical analysis to identify the possible pollutants. A database to record plant symptoms and chemical analysis data has also been established to facilitate data input and search. Through the established observation network and computerized database, the extent of air pollution can then be analyzed. Long term monitoring records can also be used to evaluate the air pollution trend at different locations.

Key words：Air pollution, Indicator plants, Database

前 言

本省主要空氣污染物包括硫氧化物、氮氧化物、氟化物、氯化物、碳氧化物、碳氫化物、懸浮微粒等初生污染物，以及臭氧和過氧硝酸乙醯酯(PAN)等次生污染物(廖，1985；鄭，1985；方與陳，1993;孫，1993a，1993b；范，1993；柳，1993；楊與謝，1993；謝，1993；Sun and Su，1985)，其中對作物毒性强者，如氟化氫、氯氣、乙烯、PAN、臭氧等，在大氣中只需幾ppb至幾十ppb就會發生傷害作用(莊與孫，1984；謝，1991)。近年由於空氣污染日漸嚴重，因空氣污染為害人畜或農作物所引發的公害糾紛事件大量增加。目前環保署雖已在全省主要都會區及工業區附近，設置空氣品質監測站，以檢測空氣中污染物的濃度(方與陳，1993)。但受限於儀器設備與人員經費之不足，對於其它廣大地區，以及長期低濃度存在之空氣污染物質，尚無法進行系統性的監測。

一些敏感的指標植物如處於空氣污染的環境下，極易出現明顯之徵狀，因而常被用於偵檢環境中是否長期遭受低濃度的污染物為害。一些至今發現較適合於臺灣氣候環境下栽培的指標作物及其可以偵檢的空氣污染物分別為(謝，1991)

(一)氟化物：唐菖蒲、落花生、香蕉、番石榴、葡萄、相思樹。
(二)臭氧：菸草、甘薯、菜豆、瓜類、牽牛。
(三)PAN：木瓜、火鶴花、萘菜、矮牽牛、菠菜、龍葵、劍葉萵苣。
(四)乙烯：洋蘭、胡麻、番茄、番石榴、辣椒。
(五)氯氣：唐菖蒲、落花生。
(六)二氧化硫：胡麻、白花牽牛、番石榴、唐菖蒲、水稻。

如能於各地普遍設立空氣污染指標植物觀測區，不僅可以瞭解當地空氣污染的情形，以補環保署現有空氣品質監測站之不足，而長期的監測記錄還可用於判斷當地空污改善或變劣之趨勢與程度。

由臺灣省農業試驗所統籌之「空氣污染物與酸雨對臺灣地區農業影響研究」整合計畫，獲環保署經費補助從八十五年度起開始執行，其中一子題「建立空氣污染指標植物區與設立指標植物資料庫」，係

調借本省各農業試驗場所從事農業氣象研究之人力，於主要農業區域分別設置24個空氣污染指標植物觀測區。所有觀測站都採用統一的觀測方法，記錄指標植物的徵狀，並每季採取植物樣品進行化學分析，以判別空污的種類；並將調查資料輸入電腦資料庫中，以利資料之存取及分析使用。

材料與方法

為統一調查的項目和精確度，以及調查資料的填報方式，各指標植物觀測區有關指標植物的管理方式與徵狀調查方法，均使用相同的觀測基準（表1～表4）。目前已設立之24個空氣污染指標植物觀測區的分佈位置如圖1所示，各觀測區之代碼及橫麥卡脫座標(2度分帶，中央經度121度)，則列於表5。

各指標植物區每季採集的植體樣品，經烘乾磨碎後，寄送臺中區農業改良場進行化學分析。陽離子係以AR級硫酸和過氧化氫先將植體消化後，再分別以原子吸光儀和火燄光度計測定（Sabbe, 1969；Yoshida et al., 1971）；可溶性硫酸離子是以0.01M HCl萃取後，以Barium Chloranilate法測定（Bertolacini and Barney, 1957, 1958；Richter and Johnson, 1983）；氯離子是以硫酸將植體消化並經氫氧化鉀吸收後，以Mercuric Nitrate法測定（Richards, 1969）；氟離子則是以1N HCl萃取後，以電極法測定（Orion Research, 1978）。

各指標植物區每季填報的基本資料、徵狀調查表和相片，以及植體採樣之化學分析結果，寄送中興大學後，均予以登錄並載入電腦資料庫中。所使用之電腦資料庫主要係以MicroSoft Professional Basic語言(Ver. 7.1)，配合具地理資訊系統功能之軟體MapBasic語言(Ver. 3.0)撰寫，以方便使用地圖界面進行測站選取及資料的顯示。各觀測區所拍的徵狀相片在載入資料庫前，先以掃描器轉成影像圖檔，再應用影像處理軟體（PhotoStyler, Ver. 2.0, U-Lead

表一、空氣污染指標植物調查記錄表（一）觀測基準

一、指標作物：

(1)唐菖蒲：Albert Schweitzer。由台中場統一供應。用於空氣中氟化物、二氧化硫、氯氣之偵檢。

(2)落花生：台南13號。由台中場統一供應。用於空氣中氯氣之偵檢。

(3)番茄　：聖女。各觀測站自行向農友種苗公司購買。用於空氣中臭氧、乙烯之偵檢。

(4)木瓜　：農友1號。各觀測站自行向農友種苗公司購買。用於空氣中PAN 之偵檢。

(5)株數　：每種作物12缽，每缽4株。

(6)種植　：唐菖蒲和落花生採直播。番茄和木瓜需提前一個月育苗，再移植入試缽內。

二、栽培介質：

(1)由臺中場監督調製試驗所需之介質，以每袋18公斤分裝。每年各觀測站分別向調製之農民購買。每一植缽裝3公斤介質。

(2)各觀測站仍需施用基肥與追肥。

(3)為避免發生連作障礙，每三個月更新指標作物時，原種植同一種指標植物的12個植缽介質應倒出，重新混合分裝施用基肥後，再輪種它種指標植物。輪種之順序為

唐菖蒲 ← 落花生 ← 番茄 ← 木瓜 ←（循環）

(4)番茄與木瓜育苗所用介質為泥炭土，不添加任何肥料，由各觀測站自行向農友種苗公司購用。以黑色10cm育苗盆育苗。

三、施肥管理：

(1)基肥：每36公斤介質均勻拌入試藥級之碳酸鈣($CaCO_3$)60g、氧化鎂(MgO)12g、磷酸二氫鉀(KH_2PO_4)12g，以及尿素6g。

(2)追肥：每隔14天每缽施用尿素0.8g。

(3)澆水：每週澆水一次，儘量使用地下水。如使用自來水，應先放置數天使殘氯減少。

(4)噴藥：間隔使用大喜和賽滅靈，新星和魚精。每二週施用一次。不要用其它農藥。

(5)地點：避開大馬路與工地，以減少落塵堆積。

(6)標示：觀測區利用二層空心磚與週圍區隔。標示牌60cm × 40cm，白底黑字。上書

> 空氣污染指標植物觀測區
> 第××觀測區
> 環保署補助計畫
> EPA-85-1404-09-19
> 執行單位：

四、徵狀調查：

(1)每二週調查一次，並拍照。如徵狀變化快速，則每週調查一次。

(2)依徵狀調查表圈選觀察到之徵狀，可複選。

(3)徵狀面積百分率以「葉片位置」項所選徵狀出現之部位為判斷基準。

(4)不論有無徵狀均需拍攝觀測區全景。若有徵狀則取出三盆合照，再採具代表性葉片拍徵狀特寫。徵狀特寫相片內需含紅、綠、藍三原色色卡。

(5)相片尺寸為4×6，無邊。

(6)每三個月將基本資料和徵狀調查記錄表影印存檔後，連同照片寄交中興大學進行電腦輸入工作。

五、植株採樣：

(1)三個月採樣一次，以三盆為一重覆，採樣前先調查株高。

(2)採樣時，每一重覆之三盆先各取一株合為全株樣本，稱取鮮重。其餘各株分上葉與下葉採樣。每樣品烘乾磨粉後至少取5g裝入夾鍊袋，註明樣品代號。

(3)全株樣品齊地切下，番茄不含果實。

(4)採樣時輕敲葉片去除累積落塵即可，不需水洗。

(5)植株烘乾磨碎後，連同採樣調查表寄交臺中區農改場進行化學分析。

(6)化學分析結果，由臺中場寄交中興大學進行輸入工作。

表二、空氣污染指標植物調查記錄表（二）基本資料

一、觀測站位置　：　　　縣(市)　　　市(鄉、鎮)　　　村(里)

二、管理人資料　：姓名　　　　　　電話（　　）
住址

三、觀測站代碼　：

四、指標植物　　：(A)唐菖蒲 (B)落花生 (C)番茄 (D)木瓜

五、移植或播種期：民國　　年　　月　　日

六、主要栽培介質：紅土和菇類太空包廢棄介質按1:1體積比混合

七、植缽內徑　　：23cm

八、施肥日期　　：基肥　　　：民國　年　月　日
第一次追肥：民國　年　月　日
第二次追肥：民國　年　月　日
第三次追肥：民國　年　月　日
第四次追肥：民國　年　月　日
第五次追肥：民國　年　月　日
第六次追肥：民國　年　月　日

九、病蟲害防治　：民國　年　月　日(1)大喜、魚精 (2)賽滅靈、新星
民國　年　月　日(1)大喜、魚精 (2)賽滅靈、新星
民國　年　月　日(1)大喜、魚精 (2)賽滅靈、新星
民國　年　月　日(1)大喜、魚精 (2)賽滅靈、新星
民國　年　月　日(1)大喜、魚精 (2)賽滅靈、新星
民國　年　月　日(1)大喜、魚精 (2)賽滅靈、新星

十、主要病虫害　：民國　年　月　日
民國　年　月　日
民國　年　月　日
民國　年　月　日

十一、其它：

表三、空氣污染指標植物調查記錄表（三）徵狀調查

一、調查者姓名：
二、觀測站代碼：
三、指標植物 ：(A)唐菖蒲 (B)落花生 (C)番茄 (D)木瓜
四、記錄日期 ：民國 年 月 日
五、葉片出現病斑：
 (A)病斑部位：(1)葉面 (2)葉背 (3)葉緣 (4)葉尖 (5)中肋附近 (6)葉脈間
 (B)葉片位置：(1)全株 (2)上葉 (3)下葉
 (C)病斑顏色：(1)白 (2)銀白 (3)灰白 (4)褐 (5)紅褐 (6)黃褐 (7)黃(8)亮銅
 (D)病斑形狀：(1)長條形 (2)圓形 (3)不規則 (4)其它
 (E)病斑大小：(1)<2mm (2)2-5mm (3)5-10mm (4)>1cm
 (F)病斑面積：(1)<20% (2)20-50% (3)>50%
六、葉片顏色異常：
 (A)異常部位：(1)葉面 (2)葉背 (3)葉緣 (4)葉尖 (5)中肋附近 (6)葉脈間
 (B)葉片位置：(1)全株 (2)上葉 (3)下葉
 (C)異常徵狀：(1)白化 (2)黃化 (3)暗綠 (4)水浸狀 (5)紫色 (6)暗銅
 (D)異常面積：(1)<20% (2)20-50% (3)>50%
七、葉尖顯現枯死徵狀：
 (A)葉片位置：(1)全株 (2)上葉 (3)下葉
 (B)枯死長度：(1)<5cm (2)5-10cm (3)10-15cm (4)>15cm
 (C)枯死面積：(1)<20% (2)20-50% (3)>50%
八、葉片呈現捲曲：
 (A)呈現部位：(1)全葉 (2)前半段 (3)後半段
 (B)葉片位置：(1)全株 (2)上葉 (3)下葉
 (C)捲曲方向：(1)往上捲 (2)往下捲
 (D)捲曲程度：(1)輕微 (2)中等 (3)嚴重
九、拍攝相片編號 (站碼-作物-年-月-日-張， 例:12-A-84-11-17-1)

表四、空氣污染指標植物調查記錄表（四）植體採樣

一、採樣者姓名：
二、觀測站代碼：
三、指標植物 ：(A)唐菖蒲 (B)落花生 (C)番茄 (D)木瓜
四、採樣日期 ：民國 年 月 日
五、採樣部位 ：(1)上葉 (2)下葉 (3)全株(株高： cm，鮮重： g/株)
六、重覆數 ： 1 2 3 4
七、樣品編號： － － － － － (站碼-植物-年-月-部位-重覆)
 (例：12-A-84-09-3-2)
八、分析結果 (%)：

Ca	Mg	Na	K	陽離子合計	SO_4	Cl	F	陰離子合計

表五、空氣污染指標植物調查記錄表（五）測站代碼

代碼	執 行 單 位	設置地點	橫麥卡脫座標＊	
1	臺灣省農業試驗所	萬豐	26585	2175
2	嘉義農業試驗分所	嘉義	25980	1945
3	鳳山農業試驗分所	鳳山	25055	1835
4	臺灣省畜產試驗所	新化	25510	1810
5	屏東技術學院	內埔	25050	2090
6	桃園區農業改良場	白玉	27710	2585
7	桃園區農業改良場	后庄	27610	2525
8	桃園區農業改良場	崙坪	27660	2655
9	桃園區農業改良場	八德	27590	2780
10	桃園區農業改良場	竹北	27490	2485
11	臺中區農業改良場	大村	26555	2015
12	臺中區農業改良場	土城	26535	2235
13	臺中區農業改良場	清水	26850	2060
14	臺中區農業改良場	萬興	26505	1895
15	臺南區農業改良場	臺南	25430	1690
16	高雄區農業改良場	屏東	25075	1985
17	高雄區農業改良場	旗山	25285	1985
18	水產試驗所東港分所	林園	24855	1915
19	高雄區農業改良場	馬公	26090	3110
20	臺東區農業改良場	斑鳩	25255	2570
21	花蓮區農業改良場	吉安	26525	3065
22	花蓮區農業改良場	三星	27315	3210
23	蠶蜂業業改良場	公館	27100	2315
24	種苗改良繁殖場	新社	26805	2295

＊二度分帶，中央經線121度；第19號測站所用中央經線爲119度。

Systems, Inc.)，利用所拍攝相片內之紅、藍、綠三原色之色卡圖像進行修正，以去除相片顏色因所用底片或沖洗技術不同而造成的誤差。

結果與討論

指標植物觀測區之調查工作自八十四年底開始，迄今(八十五年三月)已累積有一季(十二月～二月)的調查資料。唯由於係剛開始執行計畫，而該季因氣溫低，指標植物發育慢，因此植株較矮小，爲顧及化學分析時所需之樣品重量，因此部份測站的資料並不完整。以後觀測網的工作人員，將需提早冬季這一批指標植物的育苗時期，以避免指標植物因氣溫低而發育慢的困擾；北部地區的觀測區則需先利用溫室育苗後，再移入田間觀測區內。

目前各觀測區的徵狀調查記錄和植體化學分析資料已輸入電腦資料庫中，輸入時電腦會自動顯現各輸入表單(圖2)，其設計與各觀測區所使用之調查表類似，以降低發生輸入錯誤的可能。查詢資料時可以先由觀測

區分佈地圖挑選擬進行分析之觀測區(圖3)，然後依據使用者設定之蒐尋條件(圖4)，尋找符合蒐尋條件之記錄，依日期順序列出(圖5)，使用者並可調出當時所拍之相片，以及其它相關資料，以做進一步之分析。由於使用資料庫的軟體係剛開始發展，目前係以查詢各觀測區每季累積的資料爲主，可用於分析任一觀測區，有關空氣污染情形的連續變化。日後還可發展查詢觀測網內多個觀測區在同一季的調查資料，以瞭解有關空氣污染的空間分佈情形；或配合環保署現有空氣品質監測站的記錄資料，及空氣污染物對作物影響的相關研究，以瞭解各主要空氣污染來源對本省農業區的影響；……等多項應用研究。

目前所設立之24個空氣污染指標植物觀測區，雖然部份係位於大都市或可能排放污染物之工業區附近的農業區內，也有多個觀測區係位於遠離有嚴重空污可能的主要農業生產地區，但就八十四年十二月至八十五年二月之徵狀調查資料而言，多數觀測區的指標植物都顯現遭受空氣污染爲害的徵狀。由於現有觀測區的分佈密度與分佈地點仍有不儘理想之處，因此空氣污染指標植物觀測區的數目應再予以增加，以供瞭解各農業地區遭受空氣污染的程度。但目前由各農業單位調借人力支援的辦法，恐無法充份滿足普設觀測區時，所需管理與調查人力之需求。可行的解決辦法之一，係挑選適當的國中小學，以其自然科教師的人力爲主，由目前分散於各農業單位的負責人員，提供栽培管理與調查技術上的支援，如此除可滿足各觀測區管理與調查的人力需求外，亦可提供適當的自然科學教材，並吸引國中小學教師與同學對當地空氣污染情形的重視。

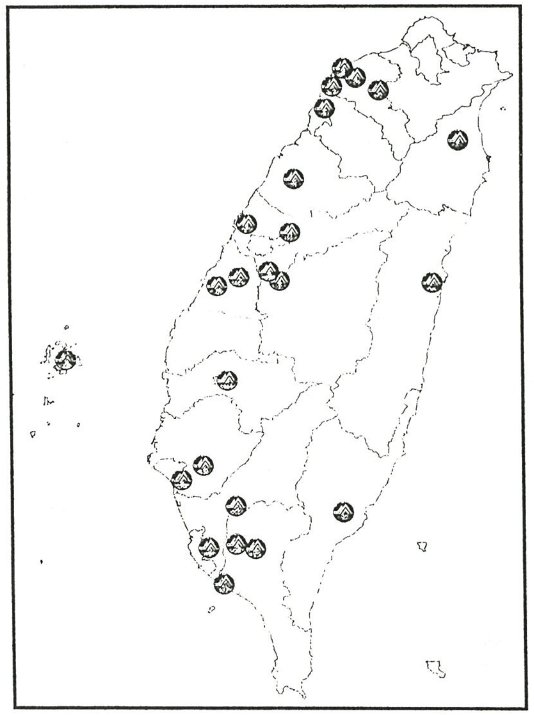


Figure 1. Spatial distribution of observation plots.

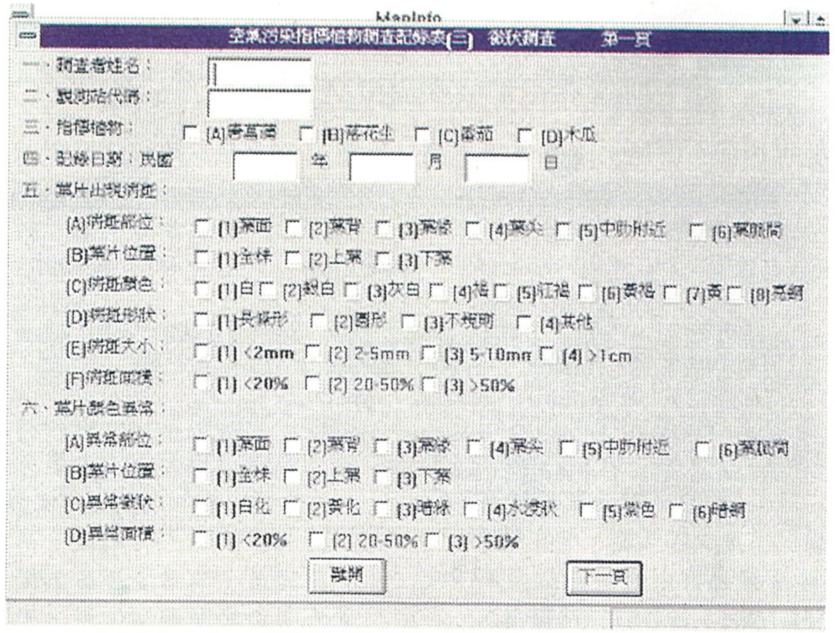


Figure 2. A sample of information entering screen.

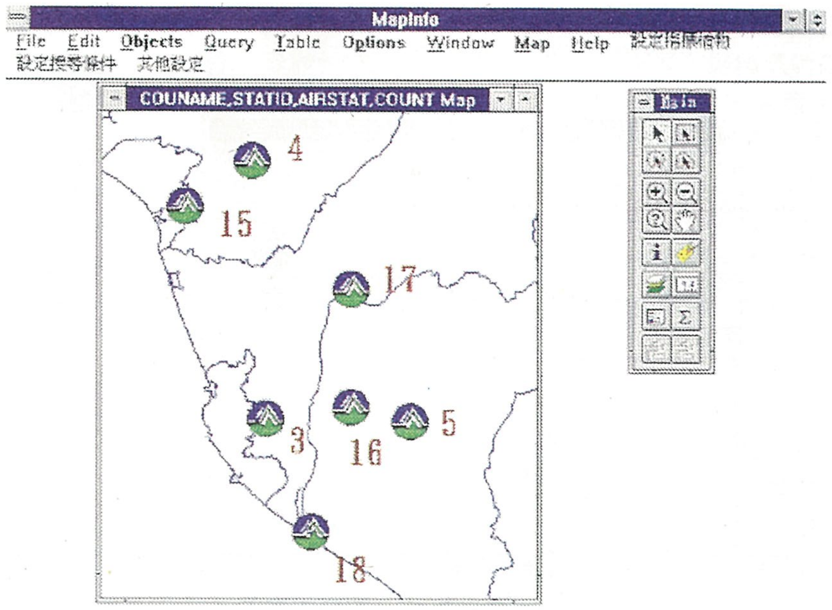


Figure 3. A sample of observation plots selection screen.

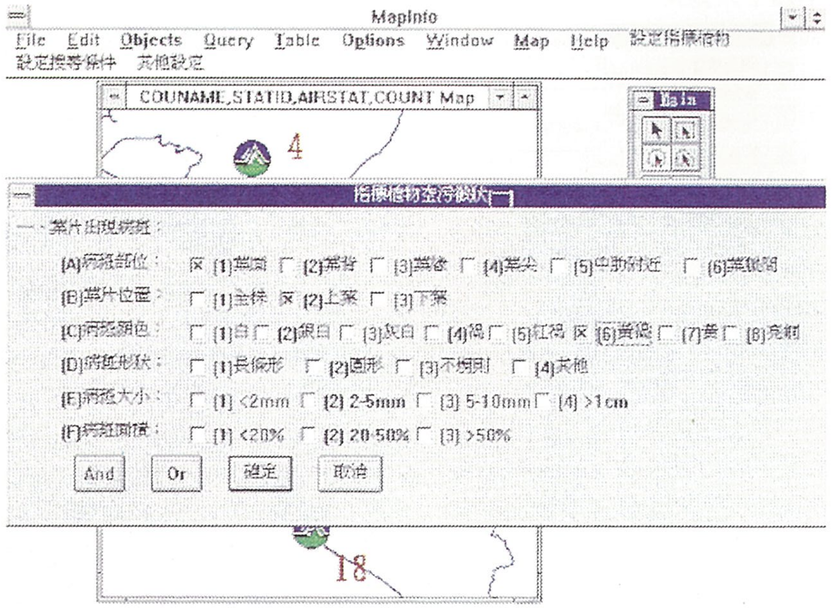


Figure 4. A sample of symptoms selection screen.

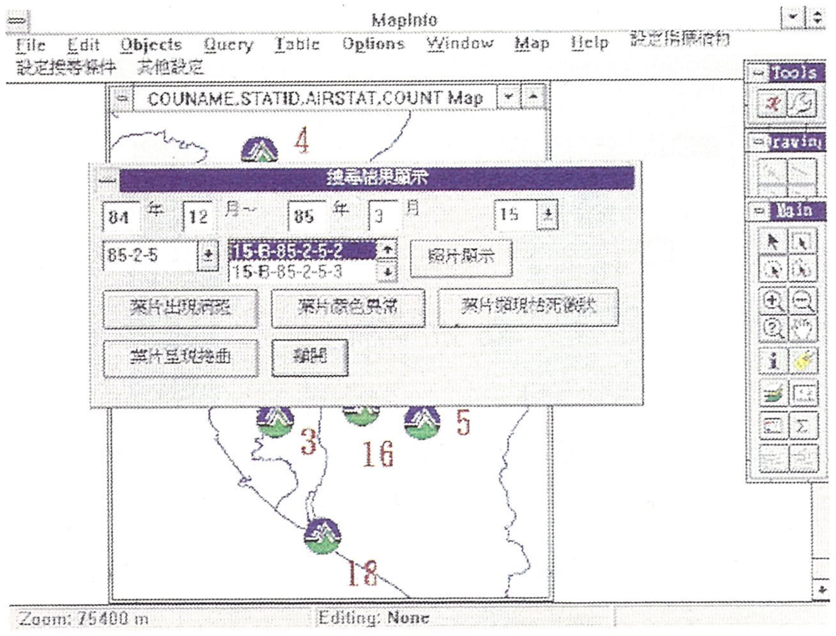


Figure 5. A sample of output screen.

綜合而言，設於臺灣各地的空氣污染指標植物觀測區，自八十四年底開始運作迄今，各觀測區負責人員的經驗與所使用的觀測基準，在歷經半年的應用與修正下，均已逐漸成熟，爲未來的觀測工作已奠下良好基礎。以後除應持續觀測區資料之蒐集與增設指標植物觀測區，以充實資料庫內的資料數量外，還應就資料庫內已建檔的資料，進行各項的相關研究工作，以充份應用建立的資料庫。

誌　謝

各指標植物觀測區之維護管理、徵狀調查、樣品採集等工作承屏東技術學院徐森雄，臺灣省農業試驗所姚銘輝、蔡金川、漆匡時、王惠亮、張賢明、郝秀花、利幸貞，桃園區農業改良場廖乾華、黃義雄、林孟輝、林燕玉，臺中區農業改良場李健捀、黃秀絨，臺南區農業改良場林文助，高雄區農業改良場郭同慶，花蓮區農業改良場李祿豐、梁正文，臺東區農業改良場王志泰、黃尙義，蠶蜂業改良場林洋三、吳輝虎，種苗改良繁殖場孫永偉，臺灣省畜產試驗所許福星、洪國源，臺灣省水產試驗所蘇茂森、謝介士、蔡雪貞等多位先生小姐協助執行，謹致謝忱。

引用文獻

方淑慧、陳雄文。1993。臺灣地區空氣品質及防制策略之研析。臺灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會專輯。p.76-101。中華農業氣象學會、臺灣省農業試驗所。

李國欽、李貽華。1984。空氣污染爲害植物之診斷。臺灣植物保護中心。

范基南。1993。空氣中固體污染物對作物之影響。臺灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會專輯。p.201-216。中華農業氣象學會、臺灣省農業試驗所。

莊進源、孫岩章。1984。空氣污染公害之鑑定技術及圖鑑。行政院衛生署環境保護局。

孫岩章。1985。臺灣地區之空氣污染物質。公害對農業生產之影響研討會論文集。p109-133。臺灣省農業藥物毒物試驗所。

孫岩章。1993a。植物表面燃油火力電廠黑煙微粒之顯微鏡鑑定。臺灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會專輯。p.125-136。中華農業氣象學會、臺灣省農業試驗所。

孫岩章。1993b。臺灣地區過氧硝酸乙醯酯污染物對萵苣之影響。臺灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會專輯。p.183-200。中華農業氣象學會、臺灣省農業試驗所。

柳中明。1993。臺灣的臭氧化污染分析。臺灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會專輯。p.251-264。中華農業氣象學會、臺灣省農業試驗所。

楊居成、謝式坪鉦。1993。二氧化硫及氮氧化物對農作物爲害病徵及產量影響。臺灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會專輯。p.137-152。中華農業氣象學會、臺灣省農業試驗所。

廖乾華。1985。窯業工廠廢氣對農作物損害的受害症狀及產量的影響。公害對農業生產之影響研討會論文集。p49-58。臺灣省農業藥物毒物試驗所。

謝慶芳。1991。如何栽培指標作物以監測空氣污染。臺中區農業改良場。

謝慶芳、林景和、徐國男。1991。綠帶植物對窯業廢氣之抵抗性試驗。臺中區農業改良場研究彙報 30:53-70。

謝慶芳。1993。植物對氟化物、硫氧化物及氮化物之反應。臺灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會專輯。p.106-124。中華農業氣象學會、臺灣省農業試驗所。

鄭榮賢。1985。水泥廠煙灰對農作物及土壤之影響。公害對農業生產之影響研討會論文集。p33-40。臺灣省農業藥物毒

物試驗所。

Sun, E.J. and H.J. Su. 1985. Fluoride injury to rice plants caused by air pollution emitted from ceramic and brick factories. Environ. Pollution (series A) 37:335-342. EPA, ROC.

研討會論文專輯 53-72, 1996.

二氧化硫對蔬菜作物之傷害及和黑斑病發生之交互作用

謝式坪鈺 紀廷勳
國立中興大學植物病理學研究所

內 容

摘要……54
英文摘要……54
前言……55
材料與方法……56
結果……60
討論……68
誌謝……71
引用文獻……71

二氧化硫對蔬菜作物之傷害及和黑斑病發生之交互作用

謝式坪鈺　紀廷勳

國立中興大學植物病理學研究所

摘　要

本文敘述二氧化硫(SO_2)傷害蔬菜作物的症狀、不同蔬菜作物或其品種對SO_2之敏感性以及SO_2的傷害與眞菌性病害黑斑病發生之交互作用。SO_2傷害蔬菜作物之症狀可分爲乾化、白化、褐化、黃化或水浸狀，依種類、處理濃度和處理時間而異，嚴重時造成葉片扭曲和萎凋。葉菜類中以芹菜和萵苣較敏感，而莧菜、皇宮菜和油菜(農友)較耐性，敏感蔬菜處理800 ppb三天(6 hr/day)傷害度大於50%者有芹菜、三種萵苣(平葉、嫩莖、皺葉)、菠菜(139)和芫荽。瓜類則依品系不同而異；而以西瓜(富寶)、冬瓜(吉樂)和洋香瓜最有耐性，胡瓜(瑞綠)和絲瓜(七美)最敏感。其他蔬菜作物則以黑眼豇豆最敏感。品種間差異較大者有茼蒿大葉種受害度53.9%而細葉種19.1%; 油菜 品系6931 受害度爲47.1% 而農友只有7.1%; 胡瓜瑞綠有52.4%, 而萬綠12.5% ;絲瓜七美46.7%,而品系 91035只有7.5%。蔬菜作物依症狀可區分爲:乾化者有絲瓜、胡瓜、南瓜和蒜。白化者有茼蒿、甜豌豆、番茄、油菜、蔥、甜椒、辣椒、芥藍菜、菠菜、蕪菁、花椰菜、青花菜、結球白菜、茄子、蘿蔔裂葉種、白菜6953、白菜農友2號和鳳山白菜。褐化者有芹菜、韭菜、和芫荽。黃化者有黃金白菜、莧菜和白莧。先出現水浸狀再轉爲白化或褐化者爲萵苣、芥藍菜和黑眼豇豆。測定51番椒和50結球白菜品系，發現番椒C16 受害度最大，C50則最耐有耐性。結球白菜B11受害度最大，B26則受害度最小。SO_2 不影響芥藍菜黑斑病菌(*Alternaria brassicicola*)菌絲在培養基上之生長，但其產孢量則明顯降低，病菌孢子在寄主葉片表面上發芽後形成附著器，以及侵入形成病斑數目受SO_2 影響而減少。感染*A. brassicicola*之芥藍菜對SO_2比較敏感，其可能之原因爲，芥藍菜感染病菌後，導致寄主的超氧岐化酵素降低、穀胱甘呔還原酵素被抑制、抗壞血酸氧化酵素受影響，使寄主植物清除SO2的作用受抑制。而造成SO_2降低黑斑病病斑數目之可能原因爲，SO_2減少*A. brassicicola*附著器之形成。

關鍵詞：空氣污染、二氧化硫、蔬菜作物、品種敏感性、黑斑病。

Damage of Vegetable Crops by Sulfur Dioxide and Its Interactions with Black Spot Disease

Shih-Pan-Yu Hsieh and Ting-Hsun Chi (Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC)

ABSTRACT: This article describes the symptoms of various vegetable crops caused

by sulfur dioxide (SO_2) treatment, differential sensitivities of various vegetable crop species and/or their varieties to SO_2, and the interactions of the SO_2 damage and the occurrence of black spot disease. The symptoms of vegetables caused by SO_2 could be divided into several forms, i.e., drying , whitish, yellowing, necrosis, water soaking and wilting. The symptoms became more severe after extending duration of treatment. As necrotic lesions enlarged, leaves usually became curling along edge of the leaves. Among tested leafy vegetable crops, celery, lettuce,spinach (139) and coriander were sensitive to SO_2. As a contrast, Chinese amaranth and tampala were tolerant .In cucurbits, water melon and muskmelon were tolerant, while cucumber (evergreen), and sponge cucumber (seven beauty) were sensitive. Large varietal difference in SO_2 sensitivity among different cultivars of the same species was found in , crown daisy, Chinese mustard, cucumber and sponge cucumber. Fifty one pepper and fifty Chinese cabbage varieties / lines were used to evaluate their sensitivities to SO_2. The pepper C16 and Chinese cabbage B11 were the most sensitive, and pepper C50 and Chinese cabbage B26 were the most tolerant to SO_2. Mycelial growth of *A. brassicicola*, the causal organism of black spot of Chinese kale, on media was not affected by SO_2. However, the sporulation on media and formation of appressoria and development of lesions on host leaves decreased significantly by SO_2. The degree of injury by SO_2 was more severe on Chinese kale leaves infected with *A. brassicicola.* The possible reasons for this phenomenon were decreased activities of superoxide dismutase, inhibited glutathione reductase activities and increased ascorbic acid oxidase activities by the pathogen. It suggested that scavenging of harmful products from SO_2 was inhibited by the infection of *A. brassicicola.*

Key words: Air pollution, Sulfur dioxide, Vegetable crops, Varietal sensitivities, Black spot disease.

前　言

引起植物病害的因子可分爲生物性(傳染性)及非生物性(非傳染性)，空氣污染引起之植物病害屬於非傳染性病害之一。空氣污染物早在十四世紀，由於人類開始利用煤當燃料就成爲社會問題，臺灣在近三十年來，由於工業快速發展，使得空氣污染問題非常嚴重。

隨著工業發達，工廠不斷地建立，伴隨經濟的成長，高度工業化與都市化的結果，人類的生存空間產生了不可忽視的潛在威脅，而空氣污染因能擴散及隨風飄送，故其影響面很大。在眾多空氣污染源中，二氧化硫(SO_2)是最早爲人們所發現，亦是研究最多的一種污染物，其來源有自然現象所產生，如火山爆發會產生SO_2及H_2S，人類的活動也會造成SO_2的污染，如石化產物和煤的燃燒。此外工廠的意外也會造成SO_2局部而嚴重的污染，如冶煉工業、熔煉硫礦及生產硫酸。而都會區交通工具排放廢氣，尤其是柴油車亦會排放SO_2。

二氧化硫對植物之傷害，可分爲急性與慢性(Shiau 等, 1993；U. S. Environment Protection Agency, 1978)，急性傷害爲高濃度SO_2所造成，其症狀爲漂白、黃化、水浸狀病斑，最後造成葉片捲曲、枯萎或全株死亡。慢性傷害爲低濃度SO_2所造成，常使

植物有生長變緩慢、黃化、產量降低、品質變差等現象(李、李, 1984；林等, 1986；Shiau 等, 1993)。本研究測試57種不同蔬菜作物種類及其部份品種，其中包括番椒51品系和結球白菜50品系，探討SO_2對其所造成之傷害症狀，特別注意不同品系間對SO_2忍受性之差異。

二氧化硫除可直接傷害植物外，尚可造成其生理和生化上之變化，這些變化對植物本身也許不會影響產量(Dohmen, 1987)，但可能導致植物對病菌產生不同之反應，變成較感病或較抗病(Heagle, 1982；Hughes & Laurence,1984)。白花芥藍菜(*Brassica oleracea* L. Alboglabra group)的生育期長達三個月，它的葉片常遭受黑斑病菌*Alternaria brassicicola* 和*A. brassicae*的為害，在臺灣以前者的發生率較高，影響產量和品質(鍾, 1993)。植物病原真菌對SO_2的反應不一，在工礦工廠附近SO_2濃度較高，會減少植物葉部各種子囊菌的發生率(金、吳, 1990)。本文主要目的在於探討SO_2與白花芥藍菜黑斑病菌的交互作用，明瞭黑斑病菌與SO_2同時為害時對芥藍菜造成之影響。

材料與方法

供試作物之種類

供試蔬菜作物之種類如下表一。

表一、供試蔬菜作物種類

Table 1. Vegetable crops used in this study.

中文名稱	英文名稱	學　名	品 種 名 稱
茼蒿	Garland chrysanthemum	*Chrysanthemum coronarium* L.	大葉種、細葉種
番茄	Tomato	*Lycopersicon esculentum* Mill.	台南選2號、台南選4號
白菜	Chinese cabbage	*Brassica chinensis* L.	6953、鳳山白菜、黃金白菜、農友2號
大白菜	Chinese cabbage	*Brassica petsai* var. dentata Mat. et Nak	075
油菜	Field mustard	*Brassica campestris* L.	6960、6931、80天油菜、農友
胡瓜	Cucumber	*Cucumis sativus* L.	瑞綠、綠豐, 90801永綠、萬綠
南瓜	Pumpkin	*Cucurbita ficifolia*	鳳凰、木瓜型
冬瓜	Wax gourd	*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn	吉樂
萵苣	Lettuce	*Lactuca sativa* var. *sativa*	平葉
萵苣	Lettuce	*L. sativa* var. *asparagina*	嫩莖
萵苣	Lettuce	*L. sativa* var. *crispa*	皺葉
莧菜	Chinese amaranth	*Amaranthus mangostanus* L.	TV13509
紅莧	Chinese amaranth	*A. mangostanus* L.	
白莧	Chinese amaranth	*Amaranthus tricolor* L.	
絲瓜	Vegetable sponge	*Luffa cylindrica* Roem.	七美、七星、91039 東光、91035
芥藍菜	Chinese kale	*Brassica oleracea* L	273
青花菜	Green cauliflower	*B. oleracea* L. var. *italica* plenck	053
菠菜	Spinach	*Spinacia oleracea* L.	139
紅蘿蔔	Carrot	*Daucus carota* L.	
蘿蔔	Chinese radish	*Raphanus sativus* L.	友和、板葉種
北蔥	Green onion	*Allium fistulosum* L.	234
蒜	Garlic	*Allium sativum* L.	111
芫荽	Coriander	*Coriandrum sativum* L.	146
茄子	Eggplant	*Solanum melongena* L. var. *esculentum* Nees.	屏東長茄
花椰菜	Cauliflower	*B. oleracea* var. *botrytis* L.	015
芹菜	Celery	*Apium graveolens* L.	海南青
甜豌豆	Sugar pea	*Pisum sativum* L.	農友
西瓜	Watermelon	*Citrullus lanatus* (Thunb) Matsum	富寶
洋香瓜	Muskmelon	*Cucumis melo* L. Reticulatus Group	秋香
蕪菁	Turnip	*Brassica rapa* L.	
辣椒	Red pepper	*Capsicum annuum* L.	英雄
番椒	Pepper	*Capsicum annuum* L.	51品系
青椒	Sweet pepper	*C. annuum* L var. *grossum* Seudt..	110
韭菜	Chinese leek	*Allium tuberosum* Rottl. ex K. Spreng(*A. odorum* L.)	小葉種
結球白菜	Chinese cabbage	*Brassica pekinensis* Rupr.	50品系
皇宮菜	Malabar spinach	*Basella alba* L.	
山茼蒿	Nodding burnweed	*Erechtites ralerianaefolia*	
黑眼豇豆	Cowpea	*Vigna sinensis* Hassk.	

供試作物之種植

各種蔬菜種子以包您好2000倍(25%撲克拉乳劑)消毒1 hr，經清水洗淨藥液後，放入30℃定溫箱中催芽，每日水洗一次，待種子發芽後播種到育苗盆中，七天後移植至定植盆(60x17x19 cm)中，盆內裝混合有機肥料和砂質壤土的栽培基質，種植後每十天施用台肥5號複合肥料一次，每盆約2 g。生長期中施用適量好年冬粒劑(3%加保扶)以防蟲害，處理之作物株齡除番椒30天外，其他蔬菜作物為25天，分別處理800及1200ppb SO_2五天。處理前將枯黃老葉剪除，並於前一天預先將植株放入燻蒸室。

燻蒸室之控制

燻蒸室為由透明密封玻璃蓋成(長x寬x高=2x2x2.5 m)，使自然光可以進入燻蒸室，室內四角裝各置一小風扇(直徑12 cm)以攪

拌氣流，溫度由溫濕度控制器調節在27±3℃。並放置溫濕度計錄器(Ratona,Model R-704, Sato Keiryoki Co)記錄實際溫濕度，處理用SO_2氣體由填充5% SO_2加95%氮氣之鋼瓶(40 kg/cm^2)釋出，經氣壓調整器及流量計調節控制，在溫濕度控制器出風口導入燻蒸室中。SO_2濃度之測定，是經由乾式抽氣馬達，將氣體由燻蒸室中抽送至SO2氣體測定儀(CSI Model SA700 fluorescence SO_2 analyzer)，連續測定SO_2濃度，並每7天用校正儀(VICI Model 110 dynacalibrator)校正一次。

植株受空氣污染傷害調查及傷害度之計算

蔬菜作物經SO_2處理一定時間後，依葉片受害的比例分爲七級，其調查方法和傷害度之計算如同以前報告(Shiau 等, 1993)。

二氧化硫對黑斑病菌菌絲生長及產孢之影響

將病菌單孢培養於馬鈴薯葡萄糖瓊脂(PDA)培養基上，菌絲長出後取尖端末產孢之部份，培養於PDA平板上，再放入密閉玻璃燻蒸瓶，玻璃瓶的容量爲十公升，把濃度1、3、6、8和10 ppm SO_2 分別注入玻璃瓶，而以無處理SO_2 的當對照，共處理五天，每天灌注一次每次 10 min，每處理三重複，處理後置於24℃、40W 日光燈1100 Lux光照下培養，在培養後第二天開始測量菌絲生長直徑，共測四天，並於第四天在生長菌絲圈往內0.5 cm處，用打孔器打直徑1 cm之圓盤，置於試管中，再加入5 ml水，在振盪器振盪15秒，以血球計數器計算孢子數。

二氧化硫對黑斑病菌孢子發芽之影響

病菌單孢培養於PDA七天後，以移植針輕刮菌落表面，沾取少量孢子，置於消毒過之試管中，試管灌入SO_2 0～10 ppm，每隔1 ppm爲一處理共11處理，每處理3重複，注入SO_2後以橡皮塞塞緊，處理一天後加入5 ml水，以振盪器振盪15秒，倒於PDA 平板培養基上，16 hr後，鏡檢計算孢子發芽數。

二氧化硫對黑斑病菌形成附著器之影響

病菌培養於PDA七天後，處理800ppb SO_2，隨後在每一平板加入10 ml無菌水，以移植針輕刮菌落後，以雙層紗布濾去菌絲及雜質，所得孢子懸浮液當接種源。將懸浮液均勻噴灑於芥藍菜葉片上，經24 hr後，以0.05%棉藍染色固定，用倒立顯微鏡鏡檢計算孢子發芽及附著器形成數。

二氧化硫對黑斑病病勢進展之影響

芥藍菜(C273)及青江白菜(C177)種子，播種於六寸植缽中，每盆3粒，各6重複，二十五天後進行試驗，病菌接種源是培養於PDA七天，所配成之孢子懸浮液(1x10^5/ml)，本試驗分成兩種，一爲先將蔬菜分別處理SO_2 200、500或800 ppb 6 hr，再接種病菌，另一處理爲接種病原菌24 hr後，再分別處理SO_2 0、200、500或800ppb 6 hr，二十四小時後調查罹病度。

黑斑病罹病度計算方法

黑斑病依其病斑大小分成五級；0級(N0)：無病徵；1級(N1)：病斑直徑爲0.1～1 mm；2級(N2)：病斑直徑爲1.1～5 mm；3級(N3)：病斑直徑爲5.1～10 mm；4級(N4)：病斑直徑爲10.1 mm以上。再依下列公式計算罹病度。

$$罹病度(\%)=\frac{(N1x1)+(N2x2)+(N3x3)+(N4x4)}{(N0+N1+N2+N3+N4)x4}\times 100$$

二氧化硫對芥藍菜黑斑病病斑擴展之影響

將芥藍菜C273分別處理200、400 ppb SO_2 6 hr後，接種病菌孢子懸浮液(10^5/ml)，接種後7天調查黑斑病罹病度。

黑斑病菌影響芥藍菜對SO_2之反應

芥藍菜(C273)種植25天後，進行以下五種試驗：(1)將病菌孢子接種於馬鈴薯葡萄糖培養液(PDB)，經24 hr培養後，用過濾瓶把病菌及培養液殘渣濾掉，把過濾液噴灑於葉片上，再處理800 ppb SO_2；(2)病菌孢子懸浮液接種後再處理800 ppb SO_2；(3)以未經培養病菌之PDB以過濾瓶過濾殘渣，把過濾液噴灑於葉片上，再處理800 ppb SO_2；(4)用400mesh金鋼砂灑於葉片上，再以棉花輕擦葉表造成肉眼看不出之小傷口，以無菌水清洗表面，待水份乾後立即處理800ppb SO_2 6hr；(5)對照組處理800 ppb SO_2 6 hr。每處理3重複，處理一天後調查SO_2傷害度。

芥藍菜感染黑斑病菌後生理生化之改變

本試驗包括：(1)芥藍菜先接種病菌後再處理800 ppb SO_2；(2)芥藍菜直接處理SO_2 800ppb；(3)芥藍菜只接種病菌；(4)對照不處理SO_2和不接種病菌，每處理3重複，處理後用LI-COR LI-1600 porometer測定氣孔導度，計錄處理2及6 hr後氣孔導度之變化，並測定乙烯產生以及榖胱甘呔、抗壞血酸、榖胱甘呔還原酵素與抗壞血酸氧化酵素等之含量或活性。

(一)乙烯之產生測定：

採取第4或第5葉柄，放入有20 μl再蒸餾水(DDW)的採血管中，以管塞塞緊靜置2 hr，打開管塞以新鮮空氣充份沖洗管內空間，經靜置1 hr，以注射筒抽取1 ml氣體，以配備有活性鋁粉分析管柱及火焰離子檢測器(FID)之Shimadzu GC-14A氣體層析儀測定乙烯，並以C-R6A積分儀計錄，測定後將葉柄取出稱重，換算每克鮮重所產生之乙烯量。

(二)榖胱甘呔(glutathione, GSSG)含量之分析(Rao & Dubey, 1993)：

取1g葉片，用液態氮磨碎，加入50 ml 2M磷酸緩衝液(pH 7.5)和40 μl 4-vinyl- pyridine，混合均勻靜置1 hr，以12,880g 離心15 min，取400 μl萃取液，加入400 ml reagent 1 [(110 mM $Na_2HPO_4 \cdot H_2O$、40 mM $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$、15 mM EDTA、0.04 % BSA (bovine serum albumin)、0.3 mM DTNB [5,5'-dithiobis (2-nitrobenzoic acid)] 再加入320 μl reagent 2 [(1mM EDTA、0.02% BSA、50mM imidazole(以 1M imidazole爲母液並用1N HCl調至pH 7.2)]，以及80 ml 之9 mM NADPH溶液，混合均勻後用spectrophotometer(Shimadzu UV-160A model) 測ΔA412值，將所測之值以內插法求得正確含量。

(三)抗壞血酸(ascorbate)含量之測定 (Luwe 等, 1993；Rao & Dubey, 1993)：

葉片0.2 g以液態氮磨碎，加入冷卻過的0.2 ml trichloroacetic acid(6%)，取抽出液200 μl，加入200 μl 150 mM Na_2HPO_4, pH 7.4、200 μl D.W、400 μl 10%trichloroacetic acid、400 μl metaphosphoric acid、400 μl 4% bipyridyl (in 70% ethanol)和200 μl 3% $FeCl_3$ 充分混合後於37℃下靜置1 hr，以UV-160A光電比色計測ΔA525值。

(四)酵素活性測定：

稱取葉片0.3g，以液態氮磨碎，加入0.2M磷酸緩衝液pH6.8 10ml，以10,000 g離心25 min，取上層液供下列酵素測定。

1. 超氧歧化酵素(superoxide dismutase, SOD)之測定(Deckor, 1977)：先於石英管中加入0.1ml 1.5mM nitroblue tetrazolium, 0.2ml EDTA/NaCN(0.1M EDTA + 0.3 mM sodium cyanide), 2.6ml 0.2M 磷酸緩衝液pH6.8及0.1ml葉片萃取液，混和後置於40W的光箱中5 min，取出加0.05 ml 0.12mM riboflavin再照光5 min後測A_{560}值。

2. 榖胱甘呔還原酵素(glutathione reductase)的分析(Sandhu & Bassham 1977)：取上述製備之上層液100 μl，放入石英管中，加600ml 0.05M Tris-Cl buffer pH 7.5、100 μl 30mM $MgCl_2$ in 0.05M Tris-Cl buffer、100 μl 5mM GSSG in 0.05M Tris-Cl buffer，並在加入100 μl 1.5mM NADPH混合均勻後立即測ΔA340值。

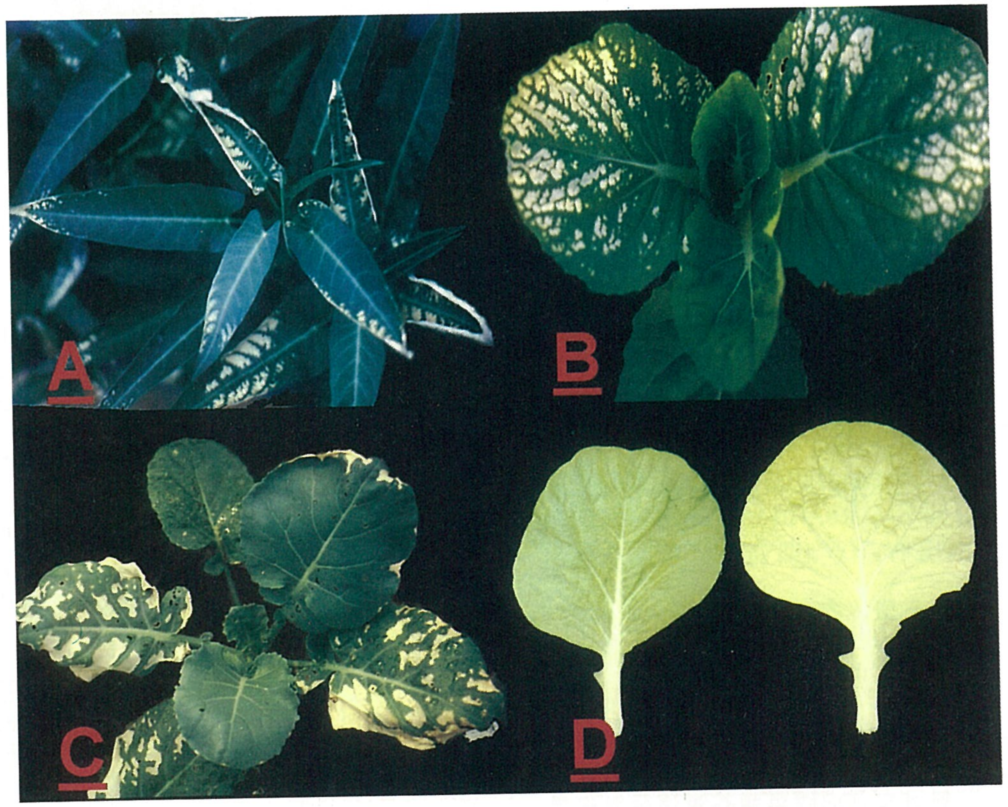
3.抗壞血酸氧化酵素(ascorbate peroxidase)

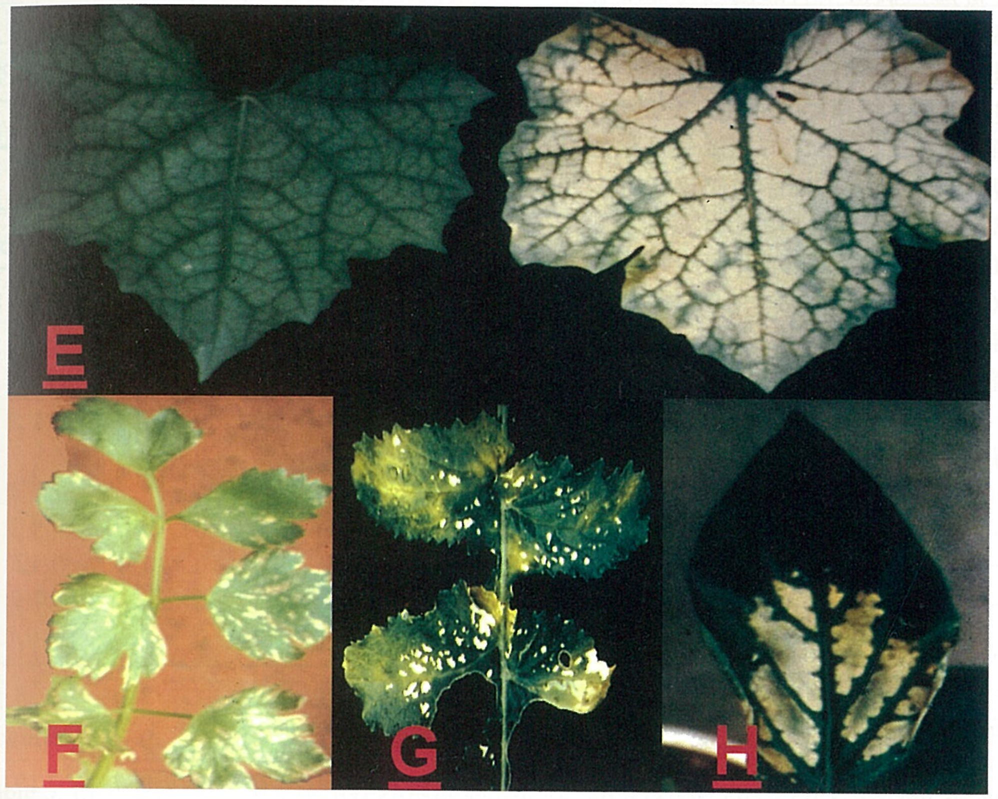
的分析(Peter 等,1989)：取製備之上層液30 μl、加140 μl DDW、600 μl 166 mM Hepes -KOH pH 7.0、100ml 1mM EDTA和30 μl 1.5mM sodium ascorbate 於1ml quartz cuvette 混合均勻，再加入100 μl 1.0 mM H_2O_2混合均勻後立即測ΔA_{265}值。

結　　果

二氧化硫傷害蔬菜作物之病徵

蔬菜作物處理 800ppb SO_2 時會出現不同病徵,病徵可分爲乾化(圖一, E)、白化(圖一, A, B. C.)、褐化 (圖一, F)、黃化 (圖一, D)、黃白化(圖一, G)、水浸狀斑(圖一, H)，嚴重時造成葉片扭曲、萎凋。供試蔬菜中最敏感的爲芹菜，處理第一天即出現病徵，其他較敏感且在處理三天後傷害度超過50%有三種萵苣(平葉、嫩葉、皺葉)、菠菜139、芫荽、胡瓜瑞綠、絲瓜七美黑眼豇豆(表二、三、四)。極耐性沒有出現病徵者有西瓜富寶、紅莧、冬瓜吉樂、蘿蔔板葉種、洋香瓜和皇宮菜，耐性者(傷害度小於10%)有番茄臺南選4號、油菜農友、鳳山白菜、南瓜木瓜型、莧菜TVI3509、白莧、絲瓜東光、絲瓜91035 和北蔥234。品種間差異較大者有茼蒿大葉種 (53.9)細葉種(19.1);油菜6931 (47.1) 油菜農友(7.1);胡瓜瑞綠(52.4)胡瓜萬綠(12.5);絲瓜七美(46.7)絲瓜91035 (7.5)。SO_2造成之症狀爲乾化者爲絲瓜、胡瓜、南瓜和蒜。白化者有茼蒿、甜豌豆、番茄、油菜、蔥、甜椒、辣椒、芥藍菜、菠菜、蕪菁、花椰菜、青花菜、結球白菜、茄、蘿蔔裂葉種、白菜6953、白菜農友2號和鳳山白菜。褐化者爲芹菜、韭菜和芫荽。黃化者爲黃金白菜、莧菜和白莧。先出現水浸狀再轉爲白化、褐化者爲萵苣、芥藍菜和黑眼豇豆。





圖一、各種蔬菜處理二氧化硫後的病徵

(A）空心菜處理 800 ppb 二氧化硫五天後產生葉邊緣白化和卷起現象； (B）結球白菜 B11 處理 800 ppb二氧化硫四天後所產生之病徵； (C）芥藍菜 273 處理 800 ppb 二氧化硫五天後產生白色斑； (D）黃金白菜處理 800 ppb 二氧化硫產生黃化（左）對照（右）。 (E）絲瓜七美處理 800 ppb 二氧化硫五天後產生乾化現象(右)對照(左)； (F）芹菜處理 800 ppb 二氧化硫五天後產生褐色斑點； (G）蘿蔔處理 800 ppb 二氧化硫五天後產生白色斑點和黃化； (H）甜椒處理 800 ppb 二氧化硫五天後產生白色斑塊。

Fig.1. Symptoms of sulfur dioxide injury to vegetable crops

(A) Bleaching symptoms along leaf margins on Ipomoea reptans (L.) Poir. treated with sulfur dioxide 800 ppb for 5 days; (B) Symptoms of sulfur dioxde injury to Chinese cabbage B11 treated with sulfur dioxde 800 ppb for four days; (C) Bleaching symptoms of Chinese Kale cultivar 273 treated with 800 ppb sulfur dioxide for 5 days; (D) Yellowing symptoms of Chinese cabbage cultivar Golden treated with 800 ppb sulfur dioxide for 5 days. (E) Bleaching desiccated symptoms(right) of vegetable sponge cultivar Seven Beauty treated with 800 ppb sulfur dioxide for five days, check(left); (F) Browning spots on celery leaves treated with sulfur dioxde 800 ppb for 5 days; (G) Whitish spots and yellowing on radish leaf treated with sulfur dioxide 800 ppb for 5 days; (H) Whitish blotches on sweet pepper leaf treated with 800 ppb of sulfur dioxide for 5 days.

番椒和結球白菜品種品系間對SO_2之反應

番椒處理高濃度SO_2(800ppb)會造成葉脈間直接漂白病徵，且隨處理時間增長，沿葉脈間逐漸擴大至完全漂白，而僅剩葉脈仍維持綠色，結果造成葉片捲曲枯乾，最後提早落葉，處理800ppb SO_2比較容易出現明顯差異，但高濃度時則敏感及耐性品種呈現類似病勢。不同品種間以C16 (52.8)最敏感而C50受害度(6.8)最低。其他受害度超過40 %尚有C23和C55，低於10 %尚有C88、C90、C98、C129-5、C147和C153-1。

結球白菜處理800ppb SO_2後，下位葉較易受害，於葉尖出現水浸狀，並沿葉脈間隙向下擴展，逐漸漂白，最後整葉只有葉脈呈綠色，形成明顯對比，心葉由於有成長葉包覆只在葉尖邊緣出現白斑，兩者均隨處理時間增長而逐漸嚴重，株齡較大者受害較輕，最初只出現零星白斑，隨處理時間增長，白斑增多、擴大、癒合佈滿整個葉片，數天後葉片受害部位會變碎而破裂。品種間以B11於800 及1200ppb SO_2處理時受害度最大，B26則受害度最小，用800 ppb SO_2處理時，其他受害度超過35%尚有B1，低於10%尚有B2、B3、B4、B7、B12、B13、B14和B53。由於B11與B26之生長相當快葉面積大，極適合以同一葉片做不同之生理生化研究。

二氧化硫不同濃度對病菌菌絲生長及產孢之影響

不同濃度SO_2處理5天時，病菌菌絲生長並沒有受到影響，但產孢量則受高濃度SO_2之影響(表五)。

二氧化硫對黑斑病菌孢子發芽之影響

二氧化硫燻蒸病菌之乾燥孢子後，用DW做成懸浮液後倒在PDA平板上，在25℃經24 hr，用解剖顯微鏡鏡檢五點，每點約爲0.19 cm^2，結果對照無SO_2處理者病菌孢子發芽率約43.5 %，處理1-8 ppm之間的發芽率雖有些下降，但與對照統計上無顯著差異，經SO_2 9 ppm以上處理，其發芽率明顯降低至30 %以下。

表二、葉菜類蔬菜對SO_2之反應

Table 2. The response of leafy vegetable crops to SO_2.

葉菜類 種 類	Disease index (%) 1	2	3(days)
芹菜	32.8	46.6	51.8
茼蒿大葉種	0	21.8	39.2
茼蒿細葉種	0	6.1	11.5
大白菜075	0	21.5	34.5
油菜6960	0	13.9	22.9
油菜6931	0	10.4	47.1
80天油菜	0	3.7	12.8
油菜(農友)	0	0	7.1
白菜6953	0	0	11.9
鳳山白菜	0	2.6	8.3
黃金白菜	0	0	yellowing
白菜農友2號	0	8.7	19.3
山茼蒿(昭和草)	0	5.2	28.7
芥藍菜273	0	13.9	22.9
青江白菜177	0	15.2	24.3
青花菜053	0	0	40.2
平葉萵苣	0	54.4	58.9
嫩莖萵苣	0	26.1	58.9
皺葉萵苣	0	47.9	50.7
莧菜TVI 3509	0	0	7.4
紅莧	0	0	0
白莧	0	0	2.2
菠菜139	0	29.1	62.5
芫荽	0	44.9	64.7
花椰菜	0	24.2	32.5
結球白菜026	0	34.7	40.6

表三、瓜類蔬菜對SO_2之反應

Table 3. The response of cucurbit crops to SO_2.

瓜 類 種 類	Disease index (%) 1	2	3	4(days)
西瓜富寶	0	0	0	0
洋香瓜秋香	0	0	0	0
胡瓜瑞綠	0	11.8	11.8	52.3
胡瓜綠豐	0	11.7	18.3	35.0
胡瓜90801	0	10.4	14.6	27.9
胡瓜永綠	0	2.1	2.1	18.8
胡瓜萬綠	0	10.9	12.6	12.5
南瓜鳳凰	0	4.2	12.5	18.8
南瓜木瓜型	0	0	8.3	8.3
冬瓜吉樂	0	0	0	0
絲瓜七星	0	21.7	28.6	36.6
絲瓜七美	0	11.6	46.6	53.8
絲瓜91039	0	4.4	21.1	35.2
絲瓜東光	0	0	4.4	11.3
絲瓜91035	0	0	7.5	14.5

表四、其他蔬菜類對SO_2之反應

Table 4. The response of vegetable crops other than leafy and cucurbit to SO_2.

其他蔬菜 類 種 類	Disease index (%) 1	2	3	4(days)
北蔥234	0	2.1	8.3	10.1
蒜	0	34.2	34.9	37.1
屏東長茄	0	0	0	21.9
青椒110	0	19.9	29.9	39.1
黑眼缸豆	0	4.5	48.7	51.2
甜豌豆	0	25.3	32.7	37.5
番茄台南選2號	0	11.6	12.0	13.1
番茄台南選4號	0	2.3	3.3	7.4
蕪菁	0	0	2.8	15.6
辣椒英雄	0	0	15.4	21.2
韭菜	0	1.7	11.3	12.5
紅蘿蔔	0	31.7	38.6	40.5
蘿蔔(裂葉種)	0	0	3.3	11.8
蘿蔔(板葉種)	0	0	0	0

表五、二氧化硫對*Alternaria brassicicola*在PDA菌絲生長和產孢之影響

Table 5. Effect of SO_2 on mycelial growth and sporulation of *Alternaria brassicicola* on PDA.

Concentration of SO_2 (ppm)	Mycelial radical growth (cm) 2nd day	3rd day	4th day	5th day	Sporulation x $10^7/cm^2$
0	2.10a	2.80a	3.57a	4.32a	5.01a[1]
1	2.00a	2.70a	3.47a	4.15a	4.43ab
3	1.98a	2.68a	3.46a	4.28a	4.33ab
6	2.00a	2.70a	3.45a	4.30a	4.14ab
8	1.82a	2.52a	3.52a	4.35a	3.76b
10	1.88a	2.58a	3.46a	4.20a	3.57b

[1] Means in the same column of mycelial radical growth and numbers of conidia followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

二氧化硫對病菌附著器形成之影響

在PDA上產生之病菌孢子處理800 ppb SO_2後，接種於芥藍菜葉片，經24 hr後調查。結果經SO_2處理孢子發芽率爲70.2%，而對照約爲81.8%，附著器形成量也較少，SO_2處理者約爲55.6%，而對照爲約67.7%。

黑斑病菌影響芥藍菜對SO_2之反應

芥藍菜C273與青江白菜C177處理SO_2後，所表現之病徵受黑斑病菌感染之影響，SO_2 200ppb處理後不管有無接種病菌皆無SO_2傷害病徵，SO_2處理濃度爲500或800 ppb時，如同時感染黑斑病菌則加重SO_2之傷害徵狀(表六)。

二氧化硫影響芥藍菜黑斑病病斑之形成

病菌接種到經SO_2處理過之芥藍菜C_{273}葉片，共12重複，結果可由表七看出，沒有處理SO_2之對照產生病斑數最多，處理SO_2之黑斑病病斑數約減半。但罹病度兩者並無顯著差異。

表六、黑斑病菌之感染影響芥藍菜對SO_2之反應

Table 6. Effect of black spot fungus *Alternaria brassicicola* infection on the sensitivity of Chinese kale to SO_2.

Treatment	Concentration of sulfur dioxide, ppb							
	0(CK)		200		500		800	
	C273	C177	C273	C177	C273	C177	C273	C177
Sox←Alt←Sox	0a	0a	0a	0a	11. 6a	10. 6a	28. 9a	23. 6a[1]
Alt←Sox	0a	0a	0a	0a	10. 6a	11. 0a	29. 1a	23. 2a
Sox←←Sox	0a	0a	0a	0a	2. 9b	2. 8b	11. 4b	12. 5b

1 Means in the same column of damage index by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

表七、芥藍菜C273處理SO_2後對黑斑病菌*Alternaria brassicicola*之感染產生病斑和病勢進展之影響

Table 7. Effect of SO_2 on the lesion development on leaves of Chinese kale by *Alternaria brassicicola.*

Concentration of SO_2, ppm	Number of lesions/20 cm^2	Disease severity (%)
0(CK)	232 a[1]	25.55 a
200	110 b	25.37 a
400	142 b	25.26 a

1 Means number of necrotic spots on the 5th and 6th leaves of Chinese kale were recorded 7 days after inoculation with 1×105 spore/ml *Alternaria brassicicolat.* Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

黑斑病菌影響SO_2對芥藍菜傷害之探討

用400 mesh金鋼砂在葉片上造成微小傷口，並不能加重SO_2的傷害，以此處理800 ppb SO_2一天後如同對照(不用金鋼砂處理)

並不產生病徵，但如用PDB噴灑再處理SO_2者被害度爲19.86 %，而接種病菌再處理SO_2者被害度爲38.36％，最嚴重爲用病菌培養在PDB過濾液噴灑再處理SO_2者，被害度高達47.36％。

病菌影響芥藍菜生理生化性質

(一)氣孔導度：處理SO_2 2 hr後接種病菌再處理SO_2的氣孔導度最低，單獨處理SO_2氣孔導度較高，單獨接種病菌之氣孔導度沒有顯著增加。單獨處理SO_2者在6 hr後氣孔導度比在2 hr後低，但仍比無處理者高，單獨接種病菌或同時處理SO_2再接種病菌在測定的兩個時段，氣孔導度皆沒有顯著增加(表八)

(二)乙烯：單獨處理SO_2和同時接種病菌再處理SO_2者，在處理後2 hr乙烯產生量皆有顯著增加，單獨接種病菌者沒有增加，但處理後6 hr，單獨接種病菌、單獨處理SO_2以及同時接種病菌再處理SO_2三者之間乙烯產生量無明顯差異，但都比無任何處理的對照高(表九)。

表八、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜氣孔導度之影響

Table 8. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on the leaf stomatal conductance of Chinese kale.

Treatment [1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	0. 69b	0. 72ab[2]
SO_2	0. 94a	0. 78a
Alt	0. 76ab	0. 70ab
CK	0. 73ab	0. 63b

1 Alt=inoculated with *A. brassicicola,* SO_2=fumigated at 800 ppb

2 Means of stomatal conductance(cm/s) of leaves of Chinese kale. Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

表九、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜產生乙烯之影響

Table 9. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on ethylene production by leaves of Chinese kale.

Treatment [1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	137. 0a	155. 0a[2]
SO_2	141. 0a	189. 6a
Alt	77. 6b	208. 7a
CK	61. 9b	60. 5b

1 Alt=inoculated with *A. brassicicola,* SO_2=fumigated at 800 ppb

2 Ethylene production of leaves of Chinese kale (ppb/g fresh weight). Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

(三)超氧岐化酵素(SOD)：處理2 hr後各處理測定SOD時皆有明顯下降，但處理6小時後單獨處理SO_2之SOD活性最高，單獨接種病菌次之，這兩處理保持比對照組高，且有顯著差異，但同時接種病菌再處理SO_2者活性最低，比對照低(表十)。

(四)穀胱甘呔(GSSG)：處理2 hr後各處理間GSSG含量並無顯著變化。處理6 hr後單獨處理SO_2則有明顯降低，其餘則維持不變(表十一)。

表十、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜超氧岐化酵素之影響
Table 10. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on the activity of superoxide dismutase in leaves of Chinese kale.

Treatment [1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	0. 113b	0. 099d[2]
SO_2	0. 115b	0. 193a
Alt	0. 117b	0. 160b
CK	0. 144a	0. 126c

1 Alt=inoculated with *A. brassicicola*, SO_2=fumigated at 800 ppb
2 Means of superoxide dismutase activity (units/ g fresh weight) in leaves of Chinese kale. Number in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

表十一、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜葉片含穀胱甘呔之影響
Table 11. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on glutathione in leaves of Chinese kale.

Treatment [1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	104. 0a	106. 2a[2]
SO_2	106. 2a	94. 3b
Alt	106. 9a	103. 2a
CK	105. 2a	104. 8a

1 Alt=inoculated with *A. brassicicola*, SO_2=fumigated at 800 ppb
2 Glutathione (n mol./g fresh weight) in leaves of Chinese kale. Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

(五)穀胱甘呔還原酵素：處理2 hr後以單獨處理SO_2最高，其次爲單獨接種病菌，兩者皆有明顯之增加，同時接種病菌再處理SO_2則無明顯變化。處理6 hr後仍以單獨處理SO_2最高，單獨接種病菌次之，同時接種病菌再處理SO_2仍維持不變，由第二小時至第六小時間之酵素活性變化量只有單獨處理SO_2者增加，其餘除對照組不變外，活性均略爲降低(表十二)。

(六)抗壞血酸：處理2 hr後除單獨處理SO_2下降外，其餘各處理並無差異，處理6 hr後對照則大幅上升，其餘各處理之抗壞血酸濃度也都增加，但增加量比對照少(表十三)。

表十二、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜穀胱甘呔還原酵素之影響
Table 12. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on the activity of glutathione reductase in leaves of Chinese kale.

Treatment [1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	150b	144c[2]
SO_2	159a	168a
Alt	157a	156b
CK	145b	145c

1 Alt=inoculated with *A. brassicicola*, SO_2=fumigated at 800 ppb
2 Glutatione reductase activity(units/g fresh weight) in leaves of Chinese kale. Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

表十三、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜抗壞血酸之影響
Table 13. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on ascorbic acid in leaves of Chinese kale.

Treatment [1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	21. 2a	26. 4b[2]
SO_2	17. 7b	27. 3b
Alt	21. 2a	26. 8b
CK	21. 2a	33. 1a

1 Alt=inoculated with *A. brassicicola*, SO_2=fumigated at 800 ppb.
2 Ascorbic acid (μmol./g fresh weight) in leaves of Chinese kale. Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

(七)抗壞血酸氧化酵素：:處理2 hr後除單獨處理SO_2抗壞血酸氧化酵素活性有明顯增加外，其餘各處理均無顯著差異，處理6 hr後各處理均增加，而以單獨處理SO_2者最高，和對照有顯著差異，而單獨接種病菌者和對照組之變化相似，而同時接種病菌再處理SO_2者其增加量比對照低(表十四)。

表十四、黑斑病菌和SO_2單獨或同時處理對芥藍菜抗壞血酸氧化酵素之影響
Table 14. Effect of *Alternaria brassicicola* inoculation and SO_2 treatment alone or in combination on the activity of ascorbate peroxidase in leaves of Chinese kale.

Treatment [1]	Hours after treatment	
	2	6
Alt + SO_2	3.3 b	4.0 c[2]
SO_2	4.9 a	6.5 a
Alt	3.5 b	5.3 b
CK	3.7 b	5.2 b

1 Alt=inoculated with *A. brassicicola,* SO_2=fumigated at 800 ppb

2 Ascorbate peroxidase activity(units/g fresh weight) in leaves of Chinese kale. Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to Duncan's multiple range test.

討　論

二氧化硫處理植物後，一般常見之病徵爲葉綠及葉脈間漂白褐化(李及李，1984)，本研究發現SO_2對蔬菜造成之症狀可分爲乾化、白化、褐化、黃化、水浸狀，嚴重時造成葉片扭曲、萎凋。即使是同一作物，因品種不同，對SO_2之忍受性及反應亦有所差異(林, 1982; Biggs & Savis, 1980; Sandhu & Gupta, 1989; Bressan 等 ,1978)，Shiau 等 (1993) 指出溫度與日照對SO_2傷害症狀也有影響，本研究利用自然光在密閉玻璃燻蒸室內，由溫濕度控制機控制溫度，因此影響較少，而冬天日照較夏天低，相對傷害也較慢較輕。植物處理SO_2而呈現不同傷害症狀，可能原因與植物生理性狀有關，如葉片含水量、蒸散速率、細胞壁組成成份等，另外生化性質，如代謝途徑不同而使代謝產物不同，在累積或傷害植物細胞時產生不同顏色與傷害症狀。本研究顯示葉菜類以芹菜、萵苣較敏感，處理一天即出現病徵且傷害度超過50%，而莧菜較有耐性低於10%(見表二)。敏感品種(傷害度大於50%)除芹菜和萵苣外尚有菠菜 139和芫荽。瓜類則依品系不同而異，而以西瓜富寶、冬瓜吉樂和洋香瓜最耐性，胡瓜瑞綠和絲瓜七美則最敏感。其他蔬菜類如向日葵則較敏感，SO_2處理一天即出現褐化是極敏感作物。造成品種間差異之原因可能與細胞間生化解毒過程與解毒酵素活性有關，Rao (1992)指出植物抗SO_2之差異性主要在於植物株齡以及細胞之解毒過程，而解毒作用依株齡與品種之不同而異。此外Bressan 等(1978)指出對SO_2敏感程度主要決定於對SO_2吸收率，以及將SO_2轉化成H_2S再排出植物體之能力有關。由於SO_2病徵在其他生物寄生性病害與生理病害很少見到，似乎可依此做爲判斷依據，但由於田間空氣污染源的種類很多，是否有其他效應出現，無法斷言(呂; 1991)。謝(1988)指出玉米風害所造成之病徵與空氣污染物所造成之症狀極易混淆，故病徵可以做爲診斷的工具，卻無法作爲唯一判斷依據。

黑斑病是十字花科蔬菜重要病害之一，本省終年發生，可降低品質與產量。印度及加拿大有受害而減產的記錄 (McDonald, 1959)。Kolte 等(1987)指出 *A. brassicicola*與 *A. brassicae* 兩菌，分別使芥藍菜與油菜產量損失達35.38及46.57%。本病的病原菌有 *A. brassicicola, A. brassicae* 及 *A. raphani* 等三種(Wiltshire, 1947)，本省以 *A. brassicicola* 發生率最高，整年爲害白花芥藍，而 *A. brassicae*爲害白花芥藍的適當時機卻侷限於低溫季節(鍾，1993)，本研究選用 *A. brassicicola*爲對象。此病菌在PDA生長快，適合以其菌絲處理SO_2。黑斑病菌菌絲對SO_2具相當耐性，但產孢量受8 ppm以上SO_2之影響而降低，孢子處理9 ppm以上SO_2其發芽率明顯受抑制。研究黑斑病菌孢子發芽時在24 hr 內一定要完成計算，否則剛產生的孢子會與原來發芽較慢的孢子混淆而產生誤差。SO_2處理後之病菌附著器及發芽率明顯降低，而乾燥孢子對SO_2抗性比潮濕孢子强。是否爲SO_2溶於水造成酸化的環境條件而影響病菌發芽與侵入(金、吳, 1990)，有待進一步研究。

雖然SO_2可減少病菌產孢能力，但其抑制產孢濃度爲常規SO_2之數十倍，以SO_2防治黑斑病並不實際。SO_2在一般大氣法規濃度(工廠不得超過500 ppb，一般大氣不得超過300 ppb(無名氏, 1990))對感染黑斑病菌之蔬菜並不會造成可視性傷害—出現病徵，但在工廠附近SO_2濃度可能高達500 ppb以上，在此條件下如有黑斑病菌感染則SO_2之傷害會加重，因此在評估SO_2爲害程度時，也要注意是否有病菌感染，防治黑斑病爲害有助於減輕SO_2之傷害。Dohmen(1987)指出臭氧會減低銹病菌夏孢子的致病力，因而減少銹病之嚴重性，而Winner & Cotter (1987)指出臭氧及SO_2對降低植物生長及對銹病之抗性並無相關性。病菌感染處理過SO_2之芥藍菜葉，其黑斑病斑之病斑數有明顯減少，顯示病菌孢子在芥藍菜葉片上受植物水份之影響，使孢子呈現潮濕狀，因此增加對SO_2敏感性而使病斑數減少，但罹病度雖略有減少但統計上並無差異。由此可知黑斑病勢之進展不受SO_2之影響，此結果與菌絲不受SO_2影響符合。

探討黑斑病菌使芥藍菜對SO_2較感病原因，發現以400 mesh金鋼砂所造成微小傷口，並不會增加芥藍菜對SO_2的敏感性，由此推測病菌形成附著器後伸出侵入釘對表皮細胞所造成之傷害，不會使芥藍菜對SO_2增加感受性，因此增加芥藍菜對SO_2的感受性可能不是物理因子。以病菌培養之過濾液噴灑，雖然分析上與接種病菌再處理SO_2相同，但傷害度卻較高，被病菌感染後病原菌產生之物質可能引起寄主反應，而使其對SO_2變得較敏感。因此本研究更進一步探討芥藍菜生理生化之改變。Buchwaldt & Jensen (1991) 和 Buchwaldt & Green(1992) 指出 *A. brassicae*會產生植物性毒素，destruxin B、homodestruxin B以及少量 destruxin B2，病菌感染植物後會在植物內產生這些毒素，Dahiya & Tewari(1991)也測出 *A. brassicae*會產生 N-methyl-2,5-dimethyl-N-cinnamoylpiperazine 、 2-hydroxy-1-methylzeatin 及 3-carboxy-2-methylene-4-pentenyl-4-butenolide.，這三種物質會降低植物生長率，這些毒素是否會影響寄主對SO_2之敏感性，有待進一步研究。

植物葉片氣孔導度之大小，爲決定SO_2藉由擴散作用進入植物之主要因子，氣孔開張之情況會影響光合作用之效率。在生理上氣孔開度顯示無處理之對照組在第六小時測定時爲下午三點，日照減少而使光合作用降低，導致氣孔導度下降。在第二小時測定時之氣孔導度以單獨處理SO_2者

最高，而以接種病菌再處理SO_2最低，可能病菌產生之物質影響氣孔開度，第六小時因光合作用減弱，除接種病菌再處理SO_2外，其餘之氣孔導度均減少，接種病菌再處理SO_2之氣孔導度，可能受病菌與SO_2交互影響，而無明顯變動，由此可知，接種病菌再處理SO_2較易受SO_2傷害之原因可能與氣孔導度變化無關。

細胞受傷害時會產生乙烯(Shimazaki等，1984)，本研究在處理後2 hr，單獨處理SO_2時寄主反應較快，產生大量乙烯，接種病菌再處理SO_2也受SO_2傷害影響，乙烯產生較多，而顯示細胞於此時受害嚴重。單獨接種病菌則在2 hr內病菌尚不會對寄主造成大傷害，故乙烯量並不增加。六小時後單獨接種病菌可能是植物受病菌侵入爲害之影響，而產生組織褐化病變之作用，使乙烯大量增加，與單獨處理SO_2之乙烯產量相似，但接種病菌再處理SO_2，乙烯只有少許增加，並無SO_2與病菌加成作用，而造成接種病菌再處理SO_2較易受SO_2傷害原因，除第二小時受害嚴重外，可能還有其他原因。

超氧歧化酵素在SO_2傷害的植物體，扮演重要清除有害物質的角色(Tanaka 等，1988)，SOD主要功能在於清除$O_2^-\cdot$，以避免光合色素受到破壞，本研究黑斑病菌和SO_2個別或同時處理芥藍菜，SOD在2 hr均下降，SOD的降低會導致受SO_2傷害之植物體內$O_2^-\cdot$濃度增加，$O_2^-\cdot$濃度過高時會抑制其他酵素，使細胞受害更嚴重。單獨接種病菌時病原菌產生之物質會影響SOD，單獨處理SO_2則是受SO_2影響而降低SOD，處理6 hr後單獨處理SO_2與單獨接種病菌之SOD被誘導而增加，但接種病菌再處理SO_2卻受二者雙重影響，使SOD維持下降狀態，而容易受SO_2產生之$O_2^-\cdot$所傷害。

Jablonski & Anderson(1981)指出穀胱甘呔還原酵素在H_2O_2清除過程中是一速率限制酵素，處理2 hr時單獨處理SO_2與單獨接種病菌之穀胱甘呔還原酵素增加，單獨處理SO_2者6 hr後活性更繼續增加，以清除SO_2之傷害物質，接種病菌再處理SO_2受兩者雙重壓力之影響，剛處理2 hr後穀胱甘呔還原酵素活性無明顯上升，至第六小時後更出現活性略降低之現象，由此可知接種黑斑病菌再處理SO_2者，清除H_2O_2的能力極爲有限，可能導致植物對SO_2比較敏感而容易受傷害，病徵也提早出現。

穀胱甘呔(GSSG)在處理後2 hr各處理間無顯著差異，第六小時後單獨處理SO_2者利用細胞內還原態穀胱甘呔(GSH)進行清除作用，由於穀胱甘呔還原酵素活性增加，在NADPH存在下把GSSG還原成GSH，因此GSSG含量下降，而只接種病菌者穀胱甘呔還原酵素降低，使GSSG無法還原成GSH，更支持病菌產生之物質破壞清除SO_2之功能。而接種病菌再處理SO_2則受二者之雙重影響，穀胱甘呔還原酵素被抑制，而使GSSG累積，而無法耐受SO_2所造成之傷害。

Peters等(1989)報告SO_2不影響斑豆細胞內之抗壞血酸氧化酵素，而Tanaka 等(1982)指出菠菜處理SO_2會抑制抗壞血酸氧化酵素，但Sheng (1991)則報告大豆耐性品種處理SO_2後抗壞血酸氧化酵素有上升現象，而感性品種則保持不變或略減少。本研究中顯示芥藍菜單獨處理SO_2後，抗壞血酸氧化酵素在2 hr時活性最高，而抗壞血酸則被消耗而呈較低狀況，顯示植物以抗壞血酸來清除H_2O_2，其餘處理的抗壞血酸氧化酵素並無差異，接種病菌再處理SO_2者，其抗壞血酸氧化酵素似乎受抑制，因此抗壞血酸並無變動。處理後6 hr對照的抗壞血酸含量增加，而單獨處理SO_2因清除SO_2產生之H_2O_2而使抗壞血酸含量降低，但單獨接種病菌者之抗壞血酸生合成可能受病菌影響而降低，而接種病菌再處理SO_2，雖然抗壞血酸氧化酵素於6 hr後有少量增加，但抗壞血酸生合成受病菌以及SO_2影響，使其含量也降低，而使保護植物之能力變小。當黑斑病菌與SO_2同時傷害芥藍菜時，抗壞血酸的生合成可能受病菌之影響而降低，而無法清除SO_2所產生的各種有害反應物，而很快出現SO_2傷害病徵。

綜合以上得知，處理SO_2會減少黑斑病的感染，同時感染黑斑病菌之蔬菜對SO_2較敏感，其原因可能是由於植物清除體內有害物質過程中SOD、穀胱甘呔還原酵素以及抗壞血酸氧化酵素受病菌影響無法上升。由於植物酵素種類很多，生合成過程也有很多，是否有其他生化作用會影響植物與病菌的交互作用，有待進一步探討。由此研究得知防除SO_2污染的同時，也應注意到其他會增加對SO_2敏感之因子，以便謀求對策減少作物的損失。

誌　謝

本研究承行政院農委會及臺灣省政府農林廳補助經費，番椒和結球白菜種子由亞洲蔬菜研究中心提供，文成後承曾德賜教授費心斧正，特此誌謝。

引用文獻

呂明長。1991. 二氧化硫對大豆和玉米之影響。國立中興大學碩士論文。

李國欽、李貽華。1984. 空氣污染爲害作物之診斷。臺灣植物保護中心印行。

李貽華、李國欽。1985. 空氣污染對農作物之影響 I. SO_2之影響。科學農業33:60-67.

林國全。1982. 二氧化硫對七種樹之葉部之可見爲害。臺灣省林業試驗所試驗報告第379號。

林正忠、張光顧、孫岩章。1986. 番石榴果樹對於六種常見空氣污物敏感度與病徵指標研究。行政院環境保護署印行。

金翠霞、吳亞。1990. 空氣污染與植物病蟲害。藝軒圖書出版社印行。pp.68-74。

無名氏。1990.公害處理手冊。臺灣省政府農林廳編印。p47.

鍾文全。1993. 臺灣十字花科蔬菜黑斑病菌的生物特性研究。國立中興大學論文

Biggs, A. R. and D. D. Savis. 1980. Stomatal response of three birch species exposed to varying acute doses of SO_2. J. Amer. Soc.Hort.Sci. 105:514-516.

Bressan, R. A., G. Wilson and P. Filner. 1978. Mechanisms of resistance to sulfur dioxde in the cucurbitaceae. Plant Physiol. 61:761-767.

Buchwaldt, L. and H. Green. 1992. Phytotoxicity of destruxin B and its possible role in the pathogenesis of *Alternaria brassicae*. Plant Pathol. 41:55-63.

Buchwaldt, L. and J. S. Jensen. 1991. HPLC purification of destruxins produced by *Alternaria brassicae* in culture and leaves of *Brassica napus*. Phytochemistry 30:2311-2316.

Dahiya, J. S. And J. P. Tewari. 1991. Plant growth factors produced by the fungus *Alternaria brassicae*. Phytochemistry 30: 2825-2828.

Deckor, L. A. 1977. Worthington Enzymes Manual. Worthington Biochem. Co. Freehold, New Jersey, U. S. A.

Dohmen, G. P. 1987. Secondary effects of air pollution: Ozone decreases brown rust disease potential in wheat. Environ. Pollut. 43:189-194.

Heagle, A. S. 1982. Interactions between air pollutants and parasitic plant diseases. In:Effects of Gaseous Air Pollution in Agriculture and Horticulture. (eds.) M. H. Unsworth and D. P. Ormrod. p.333-348.

Hughes, P. R. and J. A. Laurence. 1984. Relationship of biochemical effects of air pollutions on plants to environmental problems:insect and microbial interactions In:Gaseous Air Pollutants and Plant Metabolism. (eds.) M. J. Koziol &

G. R. Whatley. p. 361-377.

Jablonski, P. P. and J. W. Anderson. 1981. Light-dependent reduction of dehydro-ascorbic acid by ruptured pea chloroplasts. Plant Physiol. 67:1239-1244.

Kolte, S. J., R. P. Awasthi and M. Vishwanath. 1987. Assessment of yield losses due to *Alternaria brassicicola* blight in rapeseed and mustard. Indian Phytopathol. 40:209-211.

Luwe, M. W. F., U. Takahama and U. Heber. Role of ascorbate in detoxifying ozone in the apoplast of spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves. Plant Physiol. 101: 969-976.

McDonald,W.C. 1959. Gray leaf spot of rape in Manitoba. Can. J. Pl. Sci. 39:409-416.

Peters, J. L., F. J. Castillo and R. L. Heath. 1989. Alteration of extracellular enzymes in pinto bean leaves upon exposure to air pollutants, ozone and sulfur dioxide. Plant Physiol. 89:159-164.

Rao, M. V. 1992. Cellular detoxifying mechanisms determine the age dependent injury in tropical trees exposed to SO_2. J. Plant Physiol. 140:733-740.

Rao, M. V. and P. S. Dubey. 1993. Response of hydrogen peroxide scavenging system in two soybean cultivars exposed to SO_2: experimental evidence for the detoxification of SO_2 by enhanced H_2O_2 scavenging components. Environ. Pollut. 82: 99-105.

Sandhu, R. and J. A. Bassham. 1977. Chloroplast glutathione reductase. Plant Physiol. 88:1215- 1218.

Sandhu, R. and G. Gupta. 1989. Effects of nitrogen dioxide on growth and yield of black turtle bean(*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Domino, Environ. Pollut. 59:337-344.

Shiau, J. F., S. P. Y. Hsieh, S. T. Kao, M. C. Leu and J. S. Yang. 1993. Varietal sensitivities of rice, soybean and corn to sulfur dioxide. Plant Pathol. Bull. 2:43-51.

Sheng, W. S. 1991. Responses of gas exchange and the anti-oxidant system of soybean cultivars to ozone and/or sulfur dioxide. Plant and Soil 131:132-134.

Shimazaki, K., K. Ito, N. Kondo and K. Sugahara. 1984. Reversible inhibition of the photosynthetic water-splitting enzyme system by SO_2-fumigation assayed by chlorophyll fluorescence and EPR signal in vivo.Plant & Cell Physiol. 25: 795-803.

Tanaka,K., I. Furusawa, N. Kondo and K. Tanaka.1988. SO_2 tolerance of tobacco plants regenerated from paraquat-tolerant callus.Plant & Cell Physiol. 29:743-746.

Tanaka, K., T. Otsubo and N. Kondo. 1982. Participation of hydrogen peroxide in the inactivation of Calvin cycle SH enzymes in SO_2-fumigated spinach leaves. Plant and Cell Physiol. 23:1009-1018.

U.S. Environment Protection Agency. 1978. Diagnosing vegetation injury caused by air pollution. Applied Science Associated, Inc.

Wiltshire, S. P. 1947. Species of *Alternaria brassicicola* on Brassicae.Mycological papers. No.20.

Winner, W. E. and I. S. Cotter 1987. Screening loblolly pine seedling responses to SO_2 and O_3: Analysis of families differing in resistance to fusiform rust disease. Environ. Pollut. 47:205-220.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 73-86, 1996

濱海地區空氣中氯、鈉及火力發電廠排放物對作物生長之影響

謝慶芳 徐國男
臺灣省台中區農業改良場

摘要 ········ 74
英文摘要 ········ 74
前言 ········ 75
材料與方法 ········ 75
結果與討論 ········ 75
結論 ········ 77
引用文獻 ········ 77

濱海地區空氣中氯、鈉及火力發電廠排放物對作物生長之影響

謝慶芳　徐國男

臺灣省臺中區農業改良場

摘　　要

濱海地區二期作水稻每年都有穀粒大量變褐色，產量很低情形，各鄉鎮農民時常起來抗議表示是台中火力發電廠造成空氣污染所引起，因而對各有關單位造成很大之壓力。是否眞的是火力發電廠的排放物所引起，或另有其他原因，必須有科學證據，才能化解其糾紛。本調查地區二期作水稻植物體化驗結果，只有可溶性硫和氟含量有較一期作高之傾向，但其含量很低，仍不致於影響水稻之正常生長與產量，此一資料顯示民國八十三年七月至八十四年六月期間並未發現任何明顯證據證明台中火力發電廠排出廢氣影響到中部沿海地區二期作水稻之生長和產量。但現場調查結果，則發現本地區二期作水稻產量較低之原因除其有效穗數較少外主要爲稻穀變褐色，穀粒不充實而空粒多，而引起上述症狀之原因有二：一爲東北季風所帶來含鹽冷風，使抽穗期之水稻無法正常受孕而變成空粒並使穀粒尖端變成褐灰色，二爲本地二期作幾乎全部是再生稻，由於施藥管理不夠或不當以致葉鞘內有許多稻細蟎爲害，而引起葉鞘腐敗並咬傷幼穗使穀粒表面變成褐色、並造成不充實粒和空粒特別多。

關鍵語：沿海地區水稻、歉收、東北季風、稻細蟎、火力發電廠空氣污染。

The Effect of Different Air Pollutants on the Growth of Crops in the Coastal Area of Central Taiwan.

Ching-Fang Hsieh and Kou-Nan Hsu (Taichung District Agricultural Improvement Station)

ABSTRACT: The second crop of rice in the coastal area of central Taiwan is always encountered with the problem of browned rice and low yield. Many farmers are protesting that this growth failure is caused by the pollutants from Taichung Fire Power Plant. Whether their protesting is right or not, it should have a scientific evidence to support it. The results of this survey showed that only the sulphate and fluoride contents in the rice plants of the second crop tended to be higher than that of the first crop, but these concentrations were still very low. Therefore it is unlikely to be able to affect the normal growth and yield of rice. Data showed that there is no clear evidence to support the suspicion that the pollutants from Taichung Fire Plant had affected the growth and yield of the second crop of rice in the coastal area of central Taiwan during the period of July, 1994 to June. 1995. However according to this survey the low yield of the second crop of rice is mainly caused by less panicle number as well as the higher percentage of unfilled or imperfectly filled browned grain. The latter was mainly caused by two factors. One is the salty cold north-east moonsoon that usually affects the rice plants during flowering stage to induce sterile unfilled grain with a brown-grey symptom on the tip of the grain. Another is the rice small mite that multiply in the sheath of rice plants to induce the sheath rot and the unfilled or imperfectly filled browned grain.

Key word: Rice plant in the coastal area, Growth failure, North-east monsoon, Rice small mite, Pollution from fire power plant.

前　　言

台灣中部沿海地區包括大甲、大安、清水、梧棲、龍井、和美、伸港、線西、鹿港等鄉鎮比較接近海岸地帶通常到十月中旬即開始產生東北季風，稍微晚一點插秧的二期作水稻，常在開花期遇到强勁而寒冷的東北季風吹襲而無法正常稔實，以致產量都很低，因而本地區二期作過去都盡量提早插秧以避免其害，後來爲了省工則多數改留再生稻，然而近年來工商業發達，一些工廠排煙也成爲損害作物的禍源，這是無論國內或國外都常會遭到的公害問題。台中火力發電廠是最受注目而被懷疑的公害製造者，因而常有一些抗議行動發生。是否火力發電廠的排放物眞的對作物發生傷害作用，或仍舊是東北季風爲禍首，必須查明清楚，如果是該賠償的就應該按照合理的標準付錢，使農民的血汗能夠獲得適當補償，如果是不該賠償的也不應該隨便花錢，以免使納稅人花了冤枉錢，有失公道。

本調查之主要目的是希望從田間作物生長和外觀症狀之調查研究以及植物體和土壤成分之化學分析，以瞭解中部沿海地區作物歉收之原因，以供主政單位研擬作物災害處理對策之參考。

材料與方法

本調查是從民國八十三年七月起至八十四年六月止。調查對象爲水稻，八十三年部分屬於二期作，八十四年部分則爲一期作。雖然中部沿海地區約有十個鄉鎮二期作都屬於低產地區，因限於人力，本調查只選擇龍井、線西和鹿港等三個靠近海岸和台中火力發電廠之鄉鎮進行，以便了解多年來被指責之台中火力發電廠排氣是否對本地區二期作水稻產量有影響。

田間部分主要調查水稻株高、有效分蘖數、產量及產量構成因素等，如有可疑症狀也予調查記錄，以供進一步研判之參考。

植物體分上葉、下葉及全株等三部分採樣。採樣後不加水洗，直接烘乾後磨粉以供化驗。鈣、鎂、鈉、鉀等鹽基性元素以AR級硫酸和過氧化氫將植物體消化後分別以原子吸光儀和火焰光度計測定。可溶性硫酸離子是以0.01M HCl 萃取後以 Barium chloranilate 法測定，氯離子是以AR級濃硫酸將植物體消化並經 KOH 吸收後以 mercuric nitrate 法滴定，氟離子則以 1N 鹽酸萃取後以電極法測定。

結果與討論

本年度調查結果，龍井鄉沿海八十四年一期作台農67號水稻發育都相當正常，其生長和產量(表二)都明顯高於八十三年二期作(表一)，株高一期作104.5～115.6cm，高於二期作之94.3～101.6cm；每欉穗數一

期作25.8～29.1支，高於二期作之15.9～20.6支；每穗粒數一期作78～91粒，高於二期作之54～69粒；稔實率一期作86.6～91.5%，高於二期作之65.4～80.1%；千粒重一期作24.0～25.5g，高於二期作之20.8～23.4g；稻穀產量一期作5.95～8. 20kg/$10m^2$，高於二期作之3.76～4.95kg/$10m^2$；但褐穀比率一期作只有2.5～4.2%，而二期作則有53.6～81.9%，此一結果顯示二期作水稻產量較低之原因除因生長較差，每欉穗數較少外，空粒及不充實粒多以致稔實率低也是重要原因，而引起空粒多、穀粒不充實之原因顯然有二，一爲東北季風帶來含鹽冷風直接傷害抽穗開花期之穀粒，二爲潛藏在葉鞘內之稻細蟎傷害花芽分化期至抽穗期之穀粒，前者主要使穀粒尖端變成褐色(圖1)，而後者則除可使穀粒各部位都變成褐色外(圖2)，葉鞘內部也會變成褐色(圖3)，但葉鞘外面都正常(圖4)，以25倍擴大鏡檢查可以看到稻細蟎成蟲、幼蟲和卵，以葉鞘內部最多(圖5)，稻殼內部也有少量(圖6)，主要原因是本地區爲避免東北季風爲害，二期作都留再生稻，由於施藥不夠或不當以致稻細蟎較易滋生之緣故。植物體分析結果(表三及四)，二期作最靠近海岸之第一點鈉 1.21～1.44%，氯1.18～2.11%，第二點鈉 0.84～0.87%，氯0.80～1.15%，都有高於一期作第一點鈉0.74～0.80%，氯0.64～1.02%，第二點鈉0.69～0.98%，氯0.86～1.02%傾向，表示二期作似有受到一些鹽水霧影響，但似乎不是影響二期作水稻結實不良之重要原因；至於二期作水稻植物體之硫和氟含量雖有高於一期作傾向，但其含量都很低，顯然對水稻之正常生長和產量不會有影響。土壤分析結果(表五)，各項目也都大致正常。

線西鄉沿海之情形也與龍井鄉非常相似，八十四年一期作台農67號水稻發育很正常，其生和產量(表七)都明顯高於八十三年二期作(表六)，株高一期作104.2～108.3cm，高於二期作之82.1～102.5cm；每欉穗數，一期作23.4～27.8支，高於二期作之13.9～15.9支；每穗粒數一期作78～97粒，高於二期作之59～69粒；稔實率一期作87.6～94.8%，高於二期作之67.8～73.0%；千粒重一期作24.0～24.6g，高於二期作之22.5～24.2g；稻穀產量一期作6.40～7.45kg/$10m^2$，高於二期作之3.42～5.87kg/$10m^2$，而褐穀百分率一期作只有1.8～3.3%，明顯低於二期作之43.0～71.5%。所以線西鄉沿海二期作稻穀產量較低之原因除水稻生長較差，每欉穗數較少外，也是東北季風所帶來含鹽冷風及稻細蟎爲害所引起之稻穀變成褐色，空粒或不充實粒多之關係。植物體分析結果(表八及九)，只有二期作最靠近海岸之第一點鈉0.92～1.24%，氯0.94～1.57%，有高於一期作第一點鈉0.61～0.88%，氯0.76～1.01%傾向，但對水稻之正常生長影響似乎不大；至於稻株之可溶性硫和氟含量，雖然二期作也明顯高於一期作，但其含量仍然很低，對水稻之正常生長和產量顯然也不會有影響。土壤分析結果(表十)，各項目也都大致正常。

鹿港鎮沿海情形也與龍井鄉和線西鄉相似，本地區所調查爲台中秈10號，八十四年一期作水稻發育正常，生長和產量(表十二)都高於八十三年二期作，株高一期作106.8～115.4 cm，高於二期作之88.1～94.5cm；每欉穗數一期作18.3～20.2支，高於二期作之10.5～15.7支；每穗粒數一期作94～121粒，高於二期作之54～78粒；稔實率一期作86.7～93.4%，高於二期作之75.2～88.4%；千粒重一期作25.3～25.8g，高於二期作之22.9～24.3g；稻穀產量一期作7.35～8.56kg/$10m^2$，高於一期作之4.37～6.36kg/$10m^2$；褐穀百分率一期作3.6～5. 9%，低於一期作之69.0～88.7%，所以本地區二期作稻穀產量較一期作低之原因，除因生長較差每欉穗數較少外，仍以東北季風所帶來含鹽冷風及稻細蟎爲害所引起之空粒多、穀粒不充實爲主。植物體分析結果(表十三及十四)，二期作稻株之鈉和氯含量都有高

於一期作傾向，但對水稻產量之影響仍不大；二期作稻株之可溶性硫和氟含量也明顯高於一期作，但其含量仍很低，尙不致於影響水稻之正常生長和產量。土壤化驗結果，只有二期作最靠近海邊之第一點鹽分含量4.19mmhos/cm有過高現象，但其稻穀產量6.05kg/$10m^2$反而高於鹽分1.10和0.64mmhos/cm之第二和第三點之4.37和4.75kg/$10m^2$，表示土壤鹽分不是影響本地區二期作水稻低產之重要原因。

結　論

綜合以上結果，可以說中部沿海地區本年度二期作水稻產量較一期作低之原因，除因二期作水稻生長較差，有效穗數較少外，主要是東北季風所帶來含鹽冷風和稻細蟎爲害所引起之空粒和不充實粒特別多之緣故，而本地區二期作都留再生稻又施藥管理不當爲引起稻細蟎滋生爲害之主要原因。至於台中火力發電廠所排放空氣污染物之影響仍不明顯。解決之道，作者認爲應加强防風設施或多種植防風林，再生稻則從割椿開始就應加强施藥管理工作，火力發電廠之排氣也應加强監控，以免造成人爲疏失。

引用文獻

李國欽、李貽華 1984 空氣污染爲害植物之診斷 臺灣植物保護中心。

孫岩章 1985 臺灣地區之空氣污染物質。公害對農業生產之影響研討會論文專集。p.119-133. 臺灣省農業藥物毒物試驗所。

莊進源、孫岩章 1984 空氣污染公害之鑑定技術及圖鑑 行政院衛生署環境保護局。

陳清義、陳明義等 1981 空氣污染影響作物之試驗研究 臺灣省空氣污染影響農作業實況調查改善及試驗研究工作報告 p.50～57. 臺灣省環境衛生實驗所。

廖乾華 1985 窯業工廠廢氣對農作物損害的受害症狀及產量的影響。公害對農業生產之影響研討會論文專集 p.49～58. 臺灣省農業藥物毒物試驗所印行。

鄭榮賢 1985 水泥廠煙灰對農作物及土壤之影響 公害對農業生產之影響研討會論文專集 p.33～40. 臺灣省農業藥物毒物試驗所。

鍾旭和 1985 空氣污染對林木之影響 公害對農業生產之影響研討會論文專集 p.1～32. 臺灣省農業藥物毒物試驗所。

謝慶芳 1987 窯業煙害地區耕作適種作物試驗 台中區農業改良場尙未發表試驗報告。

謝慶芳 1993 植物對氟化物、硫氧化物及氮化物之反應 台灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會專輯 p.117～135。

羅美棧、張隆成、黃孝信 1981 空氣污染影響農業實況調查 臺灣省空氣污染影響農業實況調查改善及試驗研究工作報告 p.7～13. 臺灣省環境衛生實驗所。

羅美棧、陳隆成、黃孝信 1981 苗栗縣竹南、頭份地區空氣污染改善 臺灣省空氣污染影響農業實況調查改善及試驗研究工作報告 p.14～49. 臺灣省環境衛生實驗所。

山添文雄 1962 弗化水素による煙害の實態ならびの機作に關する研究。 農技研報告 B12: 1 -125。

山添文雄 1975 大氣污染 環境污染と農業 p.25～93. 博友社。

山添文雄、眞弓洋一 1975 大氣污染による植物被害の鑑定法に關する研究。 農技研報告 B27:1-60。

中村拓 1979 大氣污染の植物への障害の作用機作 大氣環境の變化と植物(山本義一監修)p.133～146. 東京大學出版會。

谷山鐵郎 1979 硫黃酸化物とイネ 大氣環境の變化と植物(山本義一監修)p.95～112. 東京大學出版會。

反井弘 1974 大氣污染 農業公害ハンドブック p.1～52. 地人書館。

涉谷政夫等 1975 大氣污染環境污染と農業

(博友社) p.25-93。

Bertolacini, R.J., and J.E. Barney II. 1957. Colorimetric determination of sulfate with barium chloranilate. Anal. Chem. 29:281-283.

Bertolacini, R.J., and J.E. Barney II. 1958. Ultraviolet sectrophotometric determination of sulfate, chloride, and fluoride with chloranilic acid. Anal. Chem. 30: 202-205.

Bieberdorf, F. W., C. L. Shrewsbury, H. L. Mckee, and H. L. Krough. 1957. Vegetation as an indicator of air pollution, Part. 1 The pine (Pinus taeda). Bull. Torrey Bot. Club 85:197-200.

Brewer, R.F. 1966. Fluorine, In "Diagnostic Criteria for Plants and Soils" p. 180-196, ed. by H.D.Chapman.

Heck, W.W. and C.S. Brandt. 1977 Effects of air pollution on vegetation: Native, Crops, Forests. In: "Air Pollution" A.C. Stern p. 157～230. Academic Press, New York.

Johnson, D.W., G.S. Henderson, D.D. Huff, S. E.Lindberg, D. D. Richter, D.S. Shriner, D.E.Todd, and J. Turner. 1982. Cycling of organic and inorganic sulfur in a chestnut oak forest. Oecologia (Berl.)54:141-148.

Kelly, J., and M.J. Lambert. 1972. The relationship between sulphur and nitrogen in the foliage of Pinus radiata. Plant Soil 37: 395-407.

Ogiso, T., T. Matsui, H. Inoue. 1966. Observation of air pollution by filter paper method in the district of china manufacturing(I)J. Hygi. Chem.(Japan), 12: 156～160.

Ogiso, T. 1967. Observatoin of air pollution in the district of china manufacturing. II. On the fluorine contents in raw materials of china and fluorine in air determined by alkaline filter paper method. J.Hygi. Chemi.(Japan) 13:143～147.

Page, A.L. et. al. 1982. Soluble fluorine and sulfur. In:"Methods of Soil Analysis" P. 472-473, 501-538, Amer. Soc Agronomy.

Rao, MN and HVN Rao. 1989. Effects of air pollution on plants. In: "Air Pollution" p. 61～69, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.

Richards, L.A. 1969. Methods of plant culture and plant analysis, in "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils". p.133～134.

Richter, D.D., and D.W. Johnson. 1983. Determination of inorganic sulfate in foliage with barium chloranilate. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 522-524.

Smith, W. H. 1981. Forest Stress: Symptomatic foliar damage caused by air contaminants. In: "Air Pollution and Forests" p.267～295.

Sun, E.J. and H.J. Su 1985. Fluoride injury to rice plants caused by air pollution emitted from ceramic and brick factories. Environmental Pollution (series A) 37:335-342, Bureau of Environmental Protection, ROC.

Sun, E.J. 1989. Sweet potato used as a biological indicator for acute air pollution injury. Plant Protection Bulletin. 31:248～255, ROC.

表一、龍井鄉沿海八十三年二期作水稻生長與產量調查

Table 1. The growth and yield of the 2nd crop of lowland rice in the coastal area of Lungching Hsiang in Taichung Hsien in 1994. [1]

Location	Varieties	Plant height (cm)	Panicle number per hill	Grain number per panicle	Filled grain (%)	1000 grain weight (g)	Grain yield (kg/10m^2)	Grain /straw ratio	Browned grain (%)
1[2]	Tai nung 67	101.6	15.9	69	80.1	23.4	4.51	0.75	53.6
2	Tai nung 67	94.3	18.7	56	71.4	20.8	3.76	0.48	81.9
3	Tai nung 67	100.4	19.6	66	75.2	22.7	4.95	0.58	62.7
4	Tai nung 67	97.4	20.6	54	65.4	21.9	4.16	0.57	78.4

[1] The figures in the table are the averages of 4 replications.
[2] 1 and 2 are closer to the sea than 3 and 4.

表二、龍井鄉沿海八十四年一期作水稻生長與產量調查

Table 2. The growth and yield of the lst crop of lowland rice in the coastal area of Lungching Hsiang in Taichung Hsien in 1995. [1]

Location	Varieties	Plant height (cm)	Panicle number per hill	Grain number per panicle	Filled grain (%)	1000 grain weight (g)	Grain yield (kg/10m^2)	Grain /straw ratio	Browned grain (%)
1[2]	Tai nung 67	105.1	27.6	78	91.5	25.2	5.95	0.78	2.6
2	Tai nung 67	110.3	25.8	85	88.5	24.3	7.05	1.03	4.2
3	Tai nung 67	115.6	29.1	91	86.6	24.0	8.20	0.86	2.5
4	Tai nung 67	104.5	27.2	84	90.2	25.5	7.20	0.92	3.4

[1] and [2]: see table 1.

表三、龍井鄉沿海八十三年二期作採收期水稻植物體化驗結果

Table 3. Chemical analysis for the 2nd crop of rice plants sampled on Nov. 10, 1994, at Lungching coastal area in Taichung Hsien. 1)

Location	Plant parts	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Total basic element	SO_4^{-2} (%)	Cl^{-1} (%)	F^{-1} (%)	Total anion	Anion as % of basic element
1.[2]	UL[3]	0.31	0.25	1.26	1.93	3.75	0.63	1.69	0.0045	2.3245	61.99
	LL	0.29	0.35	1.44	1.69	3.77	0.72	2.11	0.0033	2.8333	75.15
	WP	0.14	0.16	1.21	1.23	2.74	0.53	1.18	0.0016	1.7116	62.47
2.	UL	0.42	0.24	0.84	1.54	3.04	0.54	1.05	0.0024	1.5924	52.38
	LL	0.37	0.31	0.85	1.53	3.06	0.65	1.15	0.0017	1.8017	58.88
	WP	0.15	0.18	0.87	1.23	2.43	0.48	0.80	0.0012	1.2812	52.72
3.	UL	0.40	0.25	0.74	1.37	2.76	0.62	0.78	0.0022	1.4022	50.80
	LL	0.37	0.37	0.77	1.43	2.94	0.92	0.93	0.0018	1.8518	62.99
	WP	0.17	0.23	0.97	1.51	2.88	0.80	0.79	0.0013	1.5913	55.25
4.	UL	0.37	0.24	0.76	1.43	2.80	0.55	0.75	0.0025	1.3025	46.52
	LL	0.37	0.38	0.74	1.32	2.81	0.83	0.85	0.0017	1.6817	59.85
	WP	0.16	0.21	0.88	1.17	2.42	0.69	0.64	0.0011	1.3311	55.00

1) and 2) : see table 1, 3) : UL=upper leaves, LL=lower leaves, WP=whole plant.

表四、龍井鄉沿海八十四年一期作採收期水稻植物體化驗結果

Table 4. Chemical analysis for the 1st crop of rice plants sampled on July 3, 1995, at Lungching coastal are in Taichung Hsien. 1)

Location	Plant parts	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Total basic element	SO_4^{-2} (%)	Cl^{-1} (%)	F^{-1} (%)	Total anion	Anion as % of basic element
1.[2]	UL[3]	0.58	0.18	0.76	1.61	3.13	0.52	0.92	0.0013	1.4413	46.1
	LL	0.57	0.23	0.74	1.53	3.07	0.77	1.02	0.0010	1.7910	58.3
	WP	0.25	0.14	0.80	1.42	2.61	0.60	0.64	0.0006	1.2406	47.5
2.	UL	0.48	0.22	0.69	1.42	2.81	0.41	0.89	0.0010	1.3010	46.3
	LL	0.49	0.21	0.69	1.44	2.83	0.51	1.02	0.0007	1.5307	54.1
	WP	0.24	0.18	0.98	1.71	3.11	0.67	0.86	0.0005	1.5305	49.2
3.	UL	0.53	0.23	0.72	1.48	2.96	0.47	0.92	0.0010	1.3901	47.0
	LL	0.63	0.32	0.75	1.49	3.19	0.73	1.21	0.0008	1.9408	60.8
	WP	0.25	0.21	1.03	1.79	3.28	0.72	0.91	0.0005	1.6305	49.7
4.	UL	0.73	0.19	0.66	1.35	2.93	0.58	0.85	0.0008	1.4308	48.8
	LL	0.70	0.23	0.60	1.27	2.80	0.74	0.91	0.0006	1.6506	59.0
	WP	0.26	0.17	0.79	1.44	2.66	0.71	0.71	0.0004	1.4204	53.4

1), 2) and 3) : see table 1 and 3.

表五、龍井鄉調查區土壤樣品化驗結果

Table 5. Chemical analysis for the paddy soil of the surveyed plots at Lungching Hsiang in Taichung Hsien. 1)

Crop season	Location	pH 1:1	EC mmhos /cm	OM %	Avail P ppm	Exchangeable Ca (ppm)	Exchangeable Mg (ppm)	Exchangeable Na (ppm)	Exchangeable K (ppm)	Exchangeable SO_4^{-2} (ppm)	Exchangeable Cl^{-1} (ppm)	Exchangeable F^{-1} (ppm)
2nd crop 1994	1[2]	5.43	0.74	3.25	51	554	192	239	90	231	78	4
	2	6.74	1.11	2.90	106	983	364	499	132	247	65	6
	3	5.48	0.80	5.40	92	1416	319	218	90	455	27	3
	4	5.85	0.64	4.78	60	1493	383	145	66	362	22	3
1st crop 1995	1	5.27	0.43	2.41	30	812	157	164	97	322	26	6
	2	5.68	0.59	2.55	53	1378	262	192	88	496	36	6
	3	5.53	0.69	5.11	90	2331	284	207	85	599	28	5
	4	5.61	0.80	4.81	51	2503	332	191	59	668	46	7

1) and 2): see table 1.

表六、線西鄉沿海八十三年二期作水稻生長與產量調查

Table 6. The growth and yield of the 2nd crop of lowland rice in the coastal area of Senshi Hsiang in Changhua Hsien in 1994. 1)

Location	Varieties	Plant height cm	Panicle number per hill	Grain number per panicle	Filled grain %	1000 grain weight g	Grain yield kg/10m^2	Grain /straw ratio	Browned grain %
1[2]	Tai nung 67	82.1	14.2	59	73.0	23.3	4.92	0.65	43.0
2	Tai nung 67	102.5	13.9	60	69.6	22.9	4.95	0.63	71.5
3	Tai nung 67	101.7	14.0	69	71.3	24.2	3.42	0.70	46.2
4	Tai nung 67	96.9	15.9	64	67.8	22.5	5.87	0.68	61.4

1) and 2): see table 1.

表七、線西鄉沿海八十四年一期作水稻生長與產量調查

Table 7. The growth and yield of the 1st crop of lowland rice in the coastal area of Senshi Hsiang in Changhua Hsien in 1995. 1)

Location	Varieties	Plant height cm	Panicle number per hill	Grain number per panicle	Filled grain %	1000 grain weight g	Grain yield kg/10m^2	Grain /straw ratio	Browned grain %
1[2]	Tai nung 67	109.1	23.4	97	87.6	24.1	6.40	1.08	2.2
2	Tai nung 67	104.2	23.6	91	93.6	24.0	6.65	1.00	1.8
3	Tai nung 67	105.6	27.0	79	94.8	24.6	6.85	1.01	3.3
4	Tai nung 67	108.3	27.8	78	88.2	24.6	7.45	0.74	2.4

1) and 2): see table 1.

表八、線西鄉沿海八十三年二期作水稻採收期植物體化驗結果

Table 8. Chemical analysis for the 2nd crop of rice plants sampled on Nov.7., 1994, in Shenshi coastal area [1)]

Location	Plant parts	Ca	Mg	Na	K	Total basic element	SO_4^{-2}	Cl^{-1}	F^{-1}	Total anion	Anion as % of basic element
		——— % ———					——— % ———				
1.[2)]	UL[3)]	0.25	0.31	1.24	1.61	3.06	0.82	1.57	0.0073	2.3973	78.34
	LL	0.29	0.40	0.99	1.37	3.05	0.86	1.37	0.0035	2.2335	73.23
	WP	0.14	0.25	0.92	1.70	3.01	0.64	0.94	0.0025	1.5825	52.57
2.	UL	0.32	0.25	0.93	1.53	3.03	0.56	0.67	0.0056	1.2356	40.78
	LL	0.39	0.43	0.96	1.64	3.42	0.29	0.67	0.0029	0.9629	28.15
	WP	0.15	0.20	0.77	1.26	2.38	0.17	0.37	0.0017	0.5417	22.76
3.	UL	0.38	0.21	0.71	1.31	2.61	0.39	0.74	0.0021	1.1321	43.38
	LL	0.42	0.30	0.70	1.33	2.75	0.57	0.85	0.0020	1.4220	51.71
	WP	0.17	0.18	0.80	1.39	2.54	0.55	0.64	0.0012	1.1912	46.90
4.	UL	0.42	0.25	0.69	1.34	2.70	0.46	0.82	0.0029	1.2829	47.51
	LL	0.42	0.42	0.67	1.23	2.74	0.56	1.11	0.0020	1.6720	61.02
	WP	0.16	0.19	0.72	1.23	2.30	0.38	0.69	0.0014	1.0714	46.58

1), 2) and 3): see table 1 and 3.

表九、線西鄉沿海八十四年一期作水稻採收期植物體化驗結果

Table 9. Chemical analysis for the lst crop of rice plants sampled on July 4, 1995, in Shenshi coastal area [1)]

Location	Plant parts	Ca	Mg	Na	K	Total basic element	SO_4^{-2}	Cl^{-1}	F^{-1}	Total anion	Anion as % of basic element
		——— % ———					——— % ———				
1.[2)]	UL[3)]	0.80	0.25	0.61	1.23	2.89	0.27	0.86	0.0009	1.1309	39.1
	LL	0.81	0.33	0.68	1.33	3.15	0.36	1.01	0.0006	1.3706	43.5
	WP	0.32	0.20	0.88	1.62	3.02	0.28	0.76	0.0005	1.0405	34.5
2.	UL	0.57	0.24	0.67	1.38	2.86	0.30	0.90	0.0010	1.2010	42.0
	LL	0.60	0.30	0.74	1.48	3.12	0.49	1.08	0.0008	1.5708	50.3
	WP	0.25	0.23	0.81	1.54	2.83	0.43	0.69	0.0006	1.1206	39.6
3.	UL	0.56	0.18	0.77	1.56	3.07	0.46	0.94	0.0008	1.4008	45.6
	LL	0.63	0.21	0.76	1.49	3.09	0.59	0.98	0.0007	1.5707	50.8
	WP	0.22	0.15	0.75	1.40	2.52	0.44	0.58	0.0005	1.0205	40.5
4.	UL	0.67	0.15	0.72	1.45	2.99	0.31	0.81	0.0010	1.1210	37.5
	LL	0.63	0.21	0.67	1.31	2.82	0.49	0.88	0.0008	1.3708	48.6
	WP	0.22	0.13	0.71	1.29	2.35	0.44	0.56	0.0007	1.0007	42.6

1), 2) and 3): see table 1 and 3.

表十、線西鄉調查區土壤樣品化驗結果

Table 10. Chemical analysis for the paddy soil of the surveyed plots at Senshi Hsiang in Changhua Hsien.[1)]

Crop season	Location	pH 1:1	EC mmhos /cm	OM %	Avail P ppm	Exchangeable Ca	Mg	Na	K	Exchangeable SO_4^{-2}	Cl^{-1}	F^{-1}
						——— ppm ———				—— ppm ——		
2nd crop 1994	1[2)]	6.63	0.70	2.86	196	1026	273	195	40	380	68	3
	2	6.21	0.54	3.67	94	1045	302	114	49	321	19	3
	3	5.51	0.74	3.25	23	1209	308	137	43	507	20	3
	4	6.08	0.43	2.38	34	1185	279	97	44	280	13	2
1st crop 1995	1	5.14	1.08	3.04	62	1893	204	115	37	1232	14	4
	2	5.91	0.52	3.06	62	1283	190	96	37	540	15	6
	3	5.53	0.42	2.12	23	1347	173	78	44	585	5	4
	4	5.03	0.52	2.96	16	1432	189	86	52	735	5	7

1) and 2): see table 1.

表十一、鹿港鎮沿海八十三年二期作水稻生長與產量調查

Table 11. The growth and yield of the 2nd crop of lowland rice in the coastal area of Lukang Chien in Changhua Hsien in 1994. [1)]

Location	Varieties	Plant height cm	Panicle number per hill	Grain number per panicle	Filled grain %	1000 grain weight g	Grain yield kg/10m²	Grain /straw ratio	Browned grain %
1[2)]	Taichung Sen10	94.5	11.3	78	88.4	24.3	6.05	0.87	69.0
2	Taichung Sen10	89.0	10.5	65	77.3	23.7	4.37	0.75	77.2
3	Taichung Sen10	88.1	15.7	54	75.2	22.9	4.75	0.63	88.7
4	Taichung Sen10	92.1	13.3	60	76.8	23.1	6.36	0.68	84.8

1) and 2): see table 1.

表十二、鹿港鎮沿海八十四年一期作水稻生長與產量調查

Table 12. The growth and yield of the lst crop of lowland rice in the coastal area of Lukang Chien in Changhua Hsien in 1995. [1)]

Location	Varieties	Plant height cm	Panicle number per hill	Grain number per panicle	Filled grain %	1000 grain weight g	Grain yield kg/10m²	Grain /straw ratio	Browned grain %
1[2)]	Taichung Sen10	112.0	18.3	101	90.4	25.7	7.55	1.12	5.4
2	Taichung Sen10	113.7	19.6	116	93.4	25.8	8.25	1.18	4.7
3	Taichung Sen10	106.8	19.6	94	88.0	25.8	7.35	1.00	3.6
4	Taichung Sen10	115.4	20.2	121	86.7	25.3	8.56	1.10	5.9

1) and 2): see table 1.

表十三、鹿港鎮沿海八十三年二期作水稻採收期植物體化驗結果

Table 13. Chemical analysis for the 2nd crop of rice plants sampled on Nov 14, 1994, in Lukang coastal area 1)

Location	Plant parts	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Total basic element	SO_4^{-2} (%)	Cl^{-1} (%)	F^{-1} (%)	Total anion	Anion as % of basic element
1. 2)	UL 3)	0.54	0.51	1.53	1.65	4.23	0.76	2.88	0.0044	3.6444	86.16
	LL	0.50	0.52	1.41	2.09	4.52	0.60	2.26	0.0018	2.8618	63.31
	WP	0.23	0.35	1.35	1.70	3.63	0.57	1.55	0.0014	2.1214	58.44
2.	UL	0.59	0.51	0.75	1.36	3.21	0.67	1.40	0.0024	2.0724	64.56
	LL	0.54	0.54	0.87	1.75	3.70	0.83	1.53	0.0019	2.3619	63.84
	WP	0.25	0.33	0.92	1.83	3.33	0.71	1.19	0.0012	1.9012	57.09
3.	UL	0.38	0.38	0.98	1.35	3.09	0.83	1.34	0.0047	2.1747	70.38
	LL	0.41	0.49	1.21	1.89	4.00	1.23	1.52	0.0026	2.7526	68.82
	WP	0.21	0.29	1.04	1.51	3.05	0.81	0.94	0.0015	1.7515	57.43
4.	UL	0.33	0.30	0.79	1.31	2.73	0.42	1.05	0.0038	1.4738	53.99
	LL	0.34	0.35	0.91	1.65	3.25	0.45	1.04	0.0020	1.4920	45.91
	WP	0.57	0.22	0.86	1.35	3.00	0.39	0.69	0.0014	1.0814	36.05

1), 2) and 3): see table 1 and 3.

表十四、鹿港鎮沿海八十四年一期作水稻採收期植物體化驗結果

Table 14. Chemical analysis for the lst crop of rice plants sampled on July 7, 1995, in Lukang coastal area 1)

Location	Plant parts	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Total basic element	SO_4^{-2} (%)	Cl^{-1} (%)	F^{-1} (%)	Total anion	Anion as % of basic element
1. 2)	UL 3)	0.60	0.30	0.61	1.27	2.78	0.46	0.81	0.0013	1.2813	46.1
	LL	0.63	0.38	0.78	1.62	3.41	0.71	1.25	0.0007	1.9607	57.5
	WP	0.21	0.23	1.02	1.39	2.85	0.60	0.87	0.0005	1.4705	51.6
2.	UL	0.68	0.29	0.70	1.52	3.19	0.72	0.93	0.0007	1.6507	51.8
	LL	0.64	0.31	0.86	1.67	3.48	0.92	1.20	0.0005	2.1205	60.9
	WP	0.24	0.22	1.01	1.72	3.19	0.83	0.90	0.0007	1.7307	54.3
3.	UL	0.77	0.20	0.59	1.24	2.80	0.39	0.77	0.0008	1.1608	41.5
	LL	0.83	0.27	0.71	1.40	3.21	0.65	0.87	0.0006	1.5206	47.4
	WP	0.30	0.18	0.81	1.62	2.91	0.30	0.76	0.0005	1.0605	36.4
4.	UL	0.55	0.23	0.77	1.49	3.04	0.27	0.75	0.0006	1.0206	33.6
	LL	0.51	0.29	1.08	1.81	3.69	0.46	0.99	0.0006	1.4506	39.3
	WP	0.19	0.18	1.19	1.45	3.01	0.24	0.71	0.0006	0.9506	31.6

1), 2) and 3): see table 1 and 3.

表十五、鹿港鎮調查區土壤樣品化驗結果

Table 15. Chemical analysis for the paddy soil of the surveyed plots at Lukang Chien in Changhua Hsien. 1)

Crop season	Location	pH 1:1	EC mmhos /cm	OM %	Avail P ppm	Exchangeable Ca (ppm)	Exchangeable Mg (ppm)	Exchangeable Na (ppm)	Exchangeable K (ppm)	Exchangeable SO_4^{-2} (ppm)	Exchangeable Cl^{-1} (ppm)	Exchangeable F^{-1} (ppm)
2nd crop 1994	1 2)	7.40	4.19	4.74	18	2814	488	1890	123	425	526	6
	2	7.72	1.10	3.60	6	2727	510	2514	97	402	37	8
	3	6.01	0.64	3.02	20	1127	260	157	53	366	45	3
	4	6.64	0.51	3.17	170	689	324	398	138	236	15	2
1st crop 1995	1	7.22	1.46	4.20	111	3316	404	300	82	965	126	8
	2	7.41	1.14	3.63	20	4761	402	214	90	803	43	12
	3	5.51	0.68	3.13	12	1807	218	166	56	760	28	6
	4	6.60	0.51	3.18	115	1111	255	361	96	431	11	7

1) and 2): see table 1.

誌 謝

本試驗承蒙行政院農業委員會及台灣省政府農林廳補助經費，田間調查則由張清津、吳如澤和劉金錢先生、黃秀絨小姐協助，植物體及土壤化驗工作則蒙劉金錢先生和黃秀絨小姐幫忙，資料之整理與打字則由王幸千小姐協助完成，謹此敬表謝意。

圖1. 圖左稻穀有明顯風害症狀，穀尖變成褐色，圖中和右都只有輕微症狀

圖2. 稻細蟎爲害穀粒各部位都會變成褐色

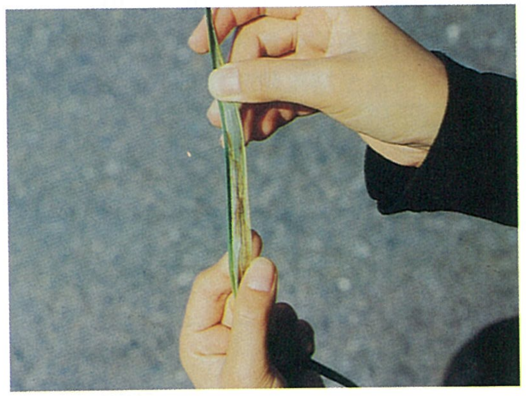


圖3. 稻細蟎爲害稻株葉鞘內部變成褐色

圖4. 稻細蟎爲害稻株葉鞘外部仍保持正常，但葉鞘內部已經變成褐色

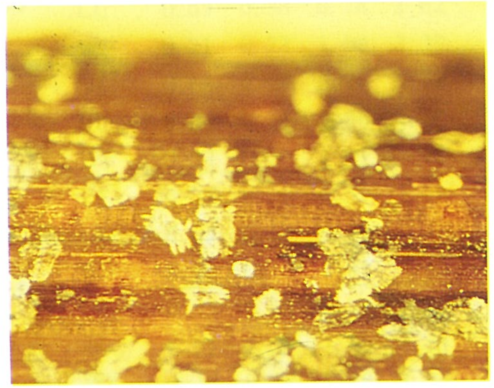


圖5. 受害稻株葉鞘內發現有大量稻細蟎成蟲、幼蟲和卵粒

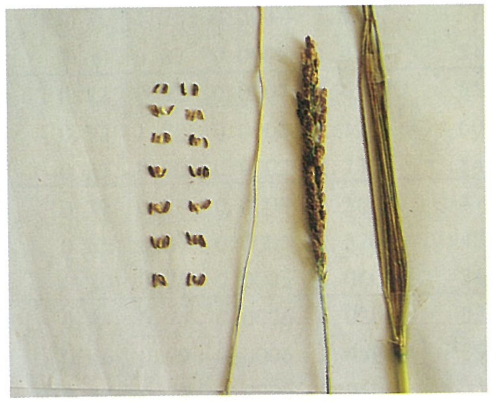


圖6. 從右至左爲遭受稻細蟎爲之葉鞘內部、稻穗、皺曲之穗梗、含有少量細蟎之稻穀

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 87-96, 1996

氟化物污染源周邊植物氟之累積情形

李貽華 徐慈鴻 蔣慕琰
臺灣省農業藥物毒物試驗所

內 容

摘要 …… 88
英文摘要 …… 88
前言 …… 89
氟化物污染來源 …… 90
氟化物之吸收、轉移及作用 …… 90
氟污染源周邊植物植體中氟化物之累積 …… 90
結語 …… 92
引用文獻 …… 92

氟化物污染源周邊植物氟之累積情形

李貽華　徐慈鴻　蔣慕琰
臺灣省農業藥物毒物試驗所

摘　要

長期生活在污染環境中的生物可反應出空氣污染之過程或累積污染物之量，如植體中氟之含量則可顯示當地大氣中氟之污染情形。自工廠釋出之氟化物會對鄰近地區植被產生毒害，有些植物之葉部會累積高量的氟而產生壞疽、黃化之現象，而有些耐性植物雖累積高量的氟但未有徵狀出現。除自然界中之氟化物外，工業上也常會產生氟化物，如煉鋁業、陶瓷、磚窯業、磷肥製造業等。歐美地區之植物受氟污染情形以煉鋁工廠周圍最爲常見，本省植物受氟污染情形則多發生在陶瓷、磚窯廠周圍。本文擬介紹常見氟化物污染源周邊植物氟之累積情形，以了解氟化物對周邊環境之影響；歐美地區利用植體中氟之含量來評估氟化物污染可能影響之範圍，如煉鋁廠周圍植物受氟污染影響，利用該區域植被中氟含量劃分污染範圍；利用草生植物植體的氟累積量來推估空氣中氟化物的含量，建立污染推測模式以監測空氣品質。本省某磚窯廠其煙道排放屬合格，但周圍之香蕉及檳榔其葉尖及葉緣有枯乾之徵狀，受氟化物爲害之情形極爲明顯，香蕉葉片氟含量爲4.3~246ppm，檳榔葉片氟含量爲9.8~710ppm；當地自生植物氟之最高累積量分別是：鬼針草(326ppm)、野塘蒿(326ppm)、昭和草(234ppm)、紫花霍香薊(224 ppm)、野莧(223ppm)、馬唐(207ppm)、牛筋草(176ppm)、竹仔菜(108ppm)，這些自生植物雖無異常徵狀出現，但氟之累積情形極爲顯著。氟化物對植物之爲害多因長期累積而導致，故本省研訂空氣品質標準時應將此列爲考慮，以保障農業區之環境品質。

關鍵詞：空氣污染、氟化物、累積性、自生植物

The Fluoride Accumulation of Plants Around a Fluoride Pollution Source

Y. H. Lee, T. H. Shyu and M. Y. Chiang (Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute)

ABSTRACT: Gaseous and particulate form of fluoride may emit from factories that associated with production of bricks, ceramics, and glass. In Taiwan, these factories are often close to farm areas, and are the primary source of fluoride pollution that affect crops and natural vegetation. Plant could easily absorb, translocate and accumulate fluoride. Responses to fluoride toxicity vary considerably among plant species. Susceptible species show distinct pattern of chlorosis and necrosis along the

tip and border of leaf. Tolerant plants may contain very high level of fluoride, hundreds-fold that of susceptible species, without showing detectable symptoms. In a two year investigation, we found that fluoride content of plants around a brick factory, a typical source of fluoride pollution, was consistently higher than those out side the polluted area. Fluoride content of sampled plants was closely related with the distances from the pollution sources. Banana (*Musa sapientum*) and betel nut (*Areca cathecu*) were most susceptible species both showed fluoride related chlorosis. Annuals such as *Bidens bipinnata, Erigeron sumatrensis, Erechitites valerianaefloia, Ageratum hostonianum, Amaranthus viridis* and *Digitaria adscendens* accumulated more than 200 μ g/g of fluoride without abnormal symptoms. These weed species are commonly found in Taiwan and have potential to be used for biomonitoring the atmosphere pollution of fluoride.

Key words : Air pollution, Fluoride, Accumulation, Native plants

前　言

以儀器監測環境品質雖可定性及定量，但儀器監測在經費上所費不貲、維護及管理上所須之技術及人力無法普及，"生物監測"逐漸被考慮取而利用之，環境因子可控制生物之出現或成活，故某一生物存在時對物理環境即具有指示作用，因此利用生物個體、族群或群落對環境所產生的反應可闡釋環境狀況，即所謂環境指標植物，指標植物可分預警及監測兩種；利用敏感植物作爲"預警"之用，具忍受性之植物則可利用其反應程度與污染量之相關關係(dose-response)作爲"監測"之用；另污染物於植物體中若具累積性，並可反映出環境中污染物之相對濃度，即可藉由植體分析推估環境中污染物之含量。長期生活在污染環境中的生物可反應出污染之過程或累積污染物量，若能就地取材利用自生植物作爲監測材料，再加上自生植物對環境之適應性强，則不失爲一方便、有利且直接之方法。

根據台灣省政府農林廳登記有案之歷年來公害爲害農作物公害糾紛之資料顯示，本省發生之公害案件依污染物種類而分，以煙塵爲最多，二氧化硫次之，再其次爲氟化物，見表一(蔣，1993)。而氟化物污染案例發生之地區以苗栗爲最多，桃園次之。氟化物污染之排放，主要來自使用黏土礦物爲製品原料之產業，如磚瓦窯業、陶磁業、玻璃纖維製造業、鍊鋁業，磷肥製造業等。黏土礦物在製造產品的過程中處於高溫時，其所含微量的氟會以粒狀或氣體形式隨熱氣由煙囪排放至空氣中；若無適當的防污設備或防污設備的效率不彰，污染物會隨氣流飄散四溢而造成空氣污染。氟化物屬極具植物毒性之一種空氣污染物，氣態氟化物主要是經由氣孔（有些植物是經由皮孔）進入葉部，隨蒸散流（transpiration stream）移至葉尖及葉緣處累積。當細胞液中氟之濃度達傷害之臨界濃度，則細胞會死亡。至於造成傷害之臨界濃度則依植物種類而異(Gao，1992)。有關氟化物污染爲害植物之報告頗多(孫，1993)，氟化物對植物之爲害除造成典型之徵狀外(孫，1985；謝，1989)，氟化物會累積於植體中，植株受害後甚至死亡後皆可自植體中分析出氟之成份，利用植體中氟含量並可推估空氣中氟之污染情形(van der Eerden，1991)。本文擬介紹本省常見氟化物主要污染源磚窯廠、陶瓷廠周邊植物氟之累積情形，及歐美地區製鋁工廠周邊植物氟之受害情形及氟之累積情形，了解氟

化物可能擴散之範圍及其對環境之影響。

氟化物污染來源

氟是大自然中普遍存在之元素，常以氟化物的形態存在於土壤或礦石中，如螢石、黑雲母、磷灰石及白雲石等。自然界之氟化物以氣體、顆粒或吸附在固體微粒上等形式而到達植物體，19世紀末期已有報告指出氟化物會對農作物造成不良影響。大氣中最具植物毒性之氟化物為氣態之氟化氫。除自然界中之氟化物外，工業上也常產生氟化物，如製造磷肥、磷酸或磷元素時會放出氟化物，磷肥工廠可能逸出之氣體有氟化氫或四氟化矽；煉鋁及煉鋼時因電解過程中加入冰晶石、螢石助熔會有氟化氫產生；煤炭含氟量約為0.008%，煤的燃燒是大氣中氟化物的另一來源；另外，磚瓦、陶器及水泥在製造過程中，原料在加高溫時會放出氟；氟化氫製造廠、石油醚提煉廠亦是氟化物之另一來源。在歐美地區，植物受氟污染為害之情形普遍發生於製鋁工廠(Pandey，1985；Haidouti，1993)及磷酸工廠週圍，本省植物受氟化物污染為害之情形則多發生於磚瓦、陶瓷工廠週圍，如桃園鶯歌地區(Sun，1985)、南投集集地區(徐，1996)、彰化花壇地區(康，1994)等。

氟化物之吸收、轉移及作用

植物可從空氣、土壤、水中吸收氟，氣態氟化物(如HF或SiF_4)主要經由氣孔進入植物體。氟化物對植物之為害主要來自空氣污染源，氟進入葉片內部後會溶於組織液而隨著蒸散流移動，然後聚集於葉尖或葉緣處，累積至危害臨界濃度時則顯現出典型之受害徵狀，危害臨界濃度之高低因植物種類而異，如唐菖蒲對氟極敏感，當葉片之氟含量達20ppm時即可造成葉尖端枯萎之受害徵狀；而一些自生植物其葉片氟累積含量達300ppm時仍無徵狀產生，如鬼針草、野塘蒿等(徐等，1996)，顯示其對氟污染極具耐性。通常隨時間增加而污染物累積量也愈多，其為害徵狀也愈為明顯，氟化物誘發之徵狀如下：1.受害部位葉綠素消失組織黃化，顏色呈灰黃綠色，但葉片仍生存；2.植物受害後組織死亡而造成顏色改變，死亡部位形成紅棕色；3.受害葉子變形及變色，葉片外觀產生捲曲、皺縮及崎嶇不平。一般而言，於高濃度時，組織中氟的濃度增加會造成葉脈間立刻壞疽，低濃度時則逐漸聚於葉尖及葉緣處而出現典型之病徵，通常在健康及死亡的組織間會有一條明顯之分界線(李等，1984；謝，1989)。

氟化物對植物之傷害除因氟累積而對細胞產生破壞外，其對生理和生化之影響亦頗大(李等，1985；Chang，1968；Chang，1970；MuCune，1964)，如影響糖解酵素之活性而干擾呼吸作用；抑制光合作用之進行；氟污染會抑制精氨酸(arginine)而干擾氮之代謝(Holopainen，1991)；氟在組織中能和金屬離子鈣、鎂、銅、鋅、鐵或鋁等結合而引起上述元素缺乏症；氟化氫會影響花粉之發芽及花粉管生長而影響植物之結果及產量(Majnartowicz，1985)等。

氟污染源周邊植物植體中氟之累積

對植物而言，氟化物屬於植物毒性(phytotoxicity)強的物質，一但進入葉片後逐漸破壞細胞組織，導致細胞各種生理代謝功能降低，氟化物累積在葉片，當濃度達臨界濃度(threshold value)時即出現受害徵狀，氟化物之為害臨界濃度視植物種類而異(Gao，1992)，如敏感性植物唐菖蒲其葉尖產生枯萎時，其葉片含氟量達20ppm；茶科為喜氟植物，茶樹成葉含氟量普遍在500～1000ppm(陳等，1983)；於京都府茶園採茶葉分析，老葉之氟含量達1,270 ppm仍無徵狀出現(山田，1980)。

本省植物受氟污染情形多發生在陶瓷、磚窯廠周圍。鶯歌地區有許多磚窯及陶瓷工廠，周圍之水稻秧苗出現葉尖尖枯、黃化之病徵，結果於受害的稻葉、稻穀及稻穗中皆分析到氟化物，葉部氟含量為120～1280ppm，為健康對照組之12～128倍，再生稻之葉部累積量達3950ppm(Sun，1985)。花壇地區亦曾發生氟化物污染為害之案例，水稻葉片之氟含量為70.4～283ppm(康，1994)。調查磚窯廠週邊地區自生草本植物植體中之氟含量，發現植體中氟化物之累積以葉部高於莖部，其間氟含量雖有正相關，但比例差異視植物種類而異，見表二。葉部氟累積倍數達莖部之4.0～9.3倍，以昭和草為例，其葉片之含氟量為220ppm(尚無徵狀)時，莖部為23.6ppm。調查該地區香蕉及檳榔植株之氟含量分佈情形，發現成熟葉之含氟量較新葉為高，葉部又以葉尖最高；果實含氟量則與非污染區相近，足見葉部所累積之氟並不會轉移至果實。自生植物葉片中氟含量視植物種類而異，本調查區域中之野塘蒿其最高氟含量為326ppm，竹仔菜之最高含量為108ppm，見表三。自生植物之氟含量隨與污染源距離之增加而減少，見表四，等距離不同方向之樣品其氟含量亦不同，氟污染源周邊植物之氟含量受地形、風向之影響頗大，該區域這些自生植物其氟含量頗高但並無受氟為害之徵狀出現(徐等，1996)，可見這些自生植物之忍受性頗高，應可利用作為氟污染之監測指標植物。1996年分析桃園地區某陶瓷廠週邊地區自生草本植物葉部氟含量，見表五，位於工廠南側之鬼針草其氟含量達7665ppm，葉緣有輕微之緣枯現象。工廠南側屬下風處，南側生長之植物其氟含量較週界其他處為高。陶瓷工廠週圍之主要栽培作物為茶樹，茶葉之葉尖枯乾，分析茶葉之綠色部位及枯乾部位氟含量，枯乾部位之氟含量約為綠色部位之2～3倍。上述二個調查區域其空氣品質經環保單位監測雖屬合格，但植物之氟含量普遍偏高，部分植物有氟化物為害之徵狀產生，可知氟化物污染對植物之為害多因長期累積而導致，研訂空氣品質標準時，應將長期氟化物污染下所造成之慢性為害情形列入考慮。

國外有關氟污染源周邊植物受氟污染影響之研究，主要探討周邊植物之氟含量及其族群之變化。Pandey(1985)調查煉鋁廠附近 *Terminalia tomentosa* 及 *Buchanania lanzan* 葉片中之氟含量，結果發現隨著與工廠距離增加，葉片中之氟含量減少，葉部受害面積亦減少，葉綠素a及b之含量增加。Lackoricova(1991)發現森林內之蘚苔、地衣其氟含量隨與污染源之距離增加而遞減，*Populus canadensis* 及 *Robinia pseudoacacia* 葉片中之氟含量亦隨與污染源之距離增加而遞減，且其樹皮之pH值亦降低，因而影響附生植物之生長及族群之分佈，改變當地之植物生態。余叔文等(1990)發現重慶南山森林中之主要樹種馬尾松(*Pinus massoniana*)有逐漸減少之趨勢，由其葉片產生之徵狀及檢測葉片之硫及氟含量，愈接近工廠其受害徵狀愈顯著，氟及硫含量愈高，並檢測空氣中二氧化硫及氟含量，結果發現空氣污染應是為害主因。Haidouti(1993)之研究報告指出，煉鋁廠周圍之自生植物形態上已受嚴重傷害，受害徵狀為葉片黃化、壞疽，分析葉片之氟含量發現，隨徵狀嚴重程度加大其氟含量亦增加，但某些種類植物雖累積高量氟卻無異常徵狀出現；工廠周邊土壤總氟含量偏高，土壤性質亦受污染物影響而改變，例如形成氟化氫而影響土壤之pH值，繼而影響地表覆蓋植被之生長。報告中將植物依受害徵狀輕重程度劃分成三區：壞疽、黃化及無徵狀，這三區植物之氟含量範圍分別為200～400ppm、100～200ppm及小於100ppm，植物葉片氟含量在200～400ppm約分佈在工廠周圍2.5公里內，植物葉片氟含量在100～200ppm約分佈在工廠周圍2.5～7.5公里內，至距工廠15公里處植物葉片中之含氟量尚有50ppm，氟污染之擴散範圍極大。由上述之報告顯示，氟化物污染源周圍植物普遍有氟之累積情形，植物體中氟之累積量與污染源之距離呈正相關。氟污染除植物生長

受直接影響外，對植物生態乃至整個生態系之影響亦頗大，值得深思。

利用指標植物監測空氣品質可分預警及監測兩種。利用敏感植物很快顯現受害徵狀可作爲預警之用；具忍受性之植物可利用其反應程度與污染量之相關關係作爲監測之用；另污染物於植物體中若具累積性，並可反映出環境中污染物之相對濃度，即可藉由植體分析推估環境中污染物之含量，由植體中之氟含量可推測當地空氣中氟含量是否合格。長期生活在污染環境中的生物可反應出污染之過程或累積污染物量，在歐洲許多國家是利用草體（如：多花黑麥草 *Lolium multiflorum*）的氟含量來推估研究空氣中氟化物的含量，Craggs (1987)並建立污染推測模式，利用草體中之氟含量來監測空氣品質。一般而言，植物體內污染物與大氣中相應之污染物含量有很大的相關性，可反映較長時間內大氣中污染物濃度之平均值。本省已有學者利用對氟污染敏感之植物－唐菖蒲、花生及牽牛花等作爲空氣中氟化物變化的指標植物(謝，1989)。

結　語

自生植物對環境適應力强，若能就地取材利用自生植物作爲監測材料，則不失爲一方便、有利且直接之方法。這些自生植物因對環境適應力强也最能表現當地植物的生長環境品質，筆者嘗試探討利用本土田間常見之自生植物作爲監測植物的可行性，由初步試驗結果中得知，磚窯廠週圍普遍存在之八種自生植物對氟化物頗有忍受性且對氟化物的累積有相當强的能力，但如何將自生植物的採集條件加以規格化，並將進一步於實驗室中栽培這些植物進行室內的薰蒸試驗以獲得劑量－反應關係的實驗資料，將實驗室所得資料配合田間的實際狀況，可建立利用自生植物監測空氣品質的系統。

有關環境空氣品質標準項目中氟化氫之環保標準爲排放管道爲20mg/Nm^3，周界爲10μg/Nm^3。本文前所述及之二個氟污染源周邊調查區域(集集及桃園)，其空氣品質經環保單位監測皆屬合格，但植物之氟含量普遍偏高，且部分植物有氟化物爲害之徵狀產生，可知氟化物污染對植物之爲害多因長期累積而導致，環保單位在研訂空氣品質標準時，應將長期氟化物污染下所造成之慢性爲害情形列入考慮，以維護農業生產環境之品質。

大氣中的氟化物累積於植物體中除會導至葉片受害、影響植株之生理作用而使生長受阻、產量減少外，最值得注意的是，累積有氟的農產品若爲人畜食用，將會對人畜造成毒害(WHO，1984)。在歐洲已有報告指出，牛隻長期食用含有低濃度氟之牧草，而引起氟慢性中毒現象，影響鈣之代謝，造成骨質軟化、骨骼生長異常，嚴重者導至跛腿或死亡，。本省磚窯廠或陶瓷廠附近之農作物若無氟之爲害徵狀產生，但氟之累積情形是否會對人畜造成毒害，尤其是葉部可食用之植物，如茶葉或葉菜類等，值得進一步探討，環保單位在研訂空氣品質標準亦應將氟在植體中之累積性列爲考慮，以保障農作物之品質及人畜之食用安全。

引用文獻

王煥校。1990。污染生態學基礎。pp.343。雲南大學出版社。

余叔文等。1990。重慶南山馬尾松林衰亡與大氣污染關係的討論。環境科學學報 10(3): 378~383。

李國欽、李貽華。1984。空氣污染爲害植物之診斷。臺灣植物保護中心印行。

李貽華、李國欽。1985。空氣污染對農作物之影響 II.氟化物。科學農業 33(1~2): 68~71。

孫岩章。1984。空氣污染公害之鑑定技術及圖鑑。行政院衛生署環保局編委會。64pp.。

孫岩章。1985。環境污染及破壞對植物之影響。科學農業 33：97~122。

孫岩章。1993。污染對農林植物的影響與鑑定實例。環境污染與公害鑑定：119~177。科技圖書股份有限公司出版。

徐慈鴻、李貽華、蔣慕琰。1996。氟化物污染源周邊植物形態反應及氟含量變化。(投稿中)

康耿康。1994。花壇地區氟化物空氣污染之研究。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。

陳瑞鋒、唐桂禮。1983。鋁與茶樹。國外農學(茶葉) 3：1~5。

蔣慕琰。1993。農作物損害鑑定及監測技術研究計畫執行成效評估報告。(未發表資料)

謝慶芳。1989。利用指標植物監測空氣污染。pp.7。台中區農業改良場特第11號。

山田秀和。1980。茶樹によるつシ素・アルミニウム錯体の吸收について。土肥誌 51：179~182。

Chang, C. W. 1968. Effect of fluoride on nucleotides and ribonulation in navel orange leaves. Plant Physiol. 43:669~678.

Chang, C. W. 1970. Effect of fluoride on ribosomes from corn root. Physiol. Plant 43:669~678.

Craggs, C. 1987. Autocorrelation and univariate time series modelling for grass fluoride and airborne fluoride concentrations. Environ. Pollut. 43:115~128.

Gao, X. P., H. B. Xu, S. Y. Chem, S. X. Zhao, M. Y. Xie and P. Wang. 1992. Screening monitoring plants for fluoride and a study of monitoring indexes. J. Plant Resources and Environ. 1(3):28~34.

Haidouti, C., A. Chronopoulou and J. Chronopoulos. 1993. Effects of fluoride emissions from industry on the fluoride concentration of soils and vegetation. Biochemical Systematics and Ecology 21 (2):195~208.

Holopainen, J. K., E. Kainulainen, J. Oksanen, A. Wulff and L. Karenlampi. 1991. Effect of exposure to fluoride, nitrogen compound and SO_2 on the numbers of spruce shoot aphids on Norway spruce seekling. Oecologia 86(1):51~56.

Lackoricova, A. and A. Kubinska. 1991. The fluoride accumulation in transplanted soil mosses nad lichen in flood plain forests closed to Bratislava (Southwestern Slovakia). Biologia 46(9): 781~789.

McCune, D. C., L. H. Weinstein, J. S. Jacobson, and A. E. Hitchcock. 1964. Some effects of atmospheric fluoride on plant metabolism. J. Air Poll. Control Assoc. 14:465~468.

Mejnartowicz, L. and A. Lewandowski. 1985. Effects of fluorides and sulphur dioxide on pollen germination and growth of the pollen tube. Acta Societatis Botanicorum Poloniae 54(2): 125~129.

Pandey, G. P. 1985. Effects of gaseous hydrogen fluoride on leaves of Terminalia tomentosa and Buchanania lanzan trees. Environ. Pollut. Ser. A. 37(4):323~334.

Sun, E. J. and H. J. Su. 1985. Fluoride injury to rice plants caused by air pollution emitted from ceramic and brick factories. Environ. Pollut. Ser. A. 37(4):335~342.

Van der Ereden, L. J. 1991. Fluoride content in grass as related to atmospheric fluoride concentrations: a simplified predictive model. Agric. Ecosystems Environ. 37:257~273.

WHO. 1984. Fluorine and Fluorides, Geneva, World Health Organization. 136pp.

表一、空氣污染農作物爲害記錄(農林廳，69, 70, 72, 75, 77年)

地區	公害發生件數						
	二氧化硫	氟化物	氯氣	廢氣	煙塵	其他	小計
台北	12	19	4	5	2	2	44
桃園	27	22	1	29	17	8	104
新竹	19	19	1	4	9	7	59
苗栗	46	40	21	21	81	26	235
台中	1	2	1	4	0	7	15
彰化	1	4	0	1	0	10	16
南投	1	0	0	0	2	1	4
雲林	1	1	0	2	2	4	10
嘉義	4	0	0	0	2	5	11
台南	12	2	4	3	5	11	37
高雄	18	8	13	17	24	14	94
屏東	0	1	1	1	2	4	9
台東	0	0	0	0	2	1	3
花蓮	0	0	0	0	1	2	3
宜蘭	1	0	0	0	0	1	2
小計	143	118	46	87	149	103	646

表二、植物葉部及莖部氟含量之比較

植物種類	氟含量 (ppm)		
	葉部	莖部	比率
牛筋草	91	13.2	6.9
竹仔菜	108	11.6	9.3
昭和草	220	23.6	9.3
馬唐	207	41.8	5.0
鬼針草	320	40.7	7.9
野莧	223	55.8	4.0
野塘蒿	202	26.0	7.8
紫花霍香薊	224	43.9	5.1

表三、磚窯廠周邊八種自生植物之最高氟含量

植物種類	最高氟含量(ppm)		
	試驗區	非污染區*	比率
牛筋草	176	17.0	10.4
竹仔菜	108	27.1	4.0
昭和草	234	40.4	5.8
馬唐	207	23.3	8.9
鬼針草	326	40.3	8.1
野莧	223	23.6	9.9
野塘蒿	326	32.9	9.9
紫花霍香薊	224	31.4	7.1

*：取自非氟化物污染源周邊之自生植物

表四、磚窯廠周邊自生植物植體中平均氟含量

採樣點	與污染源直線距離(km)	氟含量 (ppm)							
		鬼針	昭和草	紫花霍香薊	野莧	野塘蒿	竹仔菜	馬唐	牛筋草
1	1.0	42.5	41.0	27.6	26.2	41.8	20.8	15.2	21.0
2	0.7	104.2	109.7	74.7	113.7	104.9	37.7	46.3	45.0
3	*	72.5	92.4	81.4	68.9	73.7	38.6	43.9	44.4
4	0.6	100.1	98.3	36.5	84.5	59.6	23.9	33.1	58.9
5	1.4	111.0	90.1	105.9	65.9	141.8	40.8	41.1	82.6
6	1.6	38.5	56.7	24.5	60.7	40.7	12.6	18.9	28.4
7	2.5	25.3	26.6	20.5	21.4	35.1	15.7	12.9	19.5
非污染區		19.6	25.9	16.4	14.3	19.6	14.4	11.3	11.8
最高含氟量		326	234	224	223	326	108	207	176

*：污染源附近

表五、陶瓷工廠周邊自生植物葉部之氟含量

樣品別	採樣位置	氟含量(ppm)
野塘蒿	工廠南側	3975
野塘蒿	工廠西側	398
野塘蒿	工廠北側	262
鬼針草	工廠南側	7665
紫花霍香薊	工廠南側	6045
昭和草	工廠南側	2160
昭和草	工廠西側	152
昭和草	工廠北側	554
龍　葵	工廠南側	5100

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯　97-110, 1996.

大氣品質對南部地區園藝作物生產之影響

林正忠　楊淑惠
臺灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所

內　容

中文摘要 ······ 98
英文摘要 ······ 98
前言 ······ 99
材料與方法 ······ 99
結果與討論 ······ 100
誌謝 ······ 101
引用文獻 ······ 101

大氣品質對南部地區園藝作物生產之影響

林正忠　楊淑惠

臺灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所

摘　要

本省南部空氣污染已經對園藝作物的生產造成嚴重的影響。依污染源的類型常可分爲異常性污染源(區域性小污染)及全面性污染，前者與大氣品質關係較少，常由工廠因意外而造成短時間大量污染外洩而影響當地小面積的作物生產，如仁武、大社、林園等地的多次公害事件屬之。全面性污染與氣象關係密切，主要污染源爲二次污染物，或稱光化污染物，本省主要的光化污染物南部地區有臭氧（O_3）及過氧硝酸乙醯酯（PAN）在果樹、蔬菜及花卉等作物上皆可看到此類污染物所造成的病徵或所造成的間接影響。以屏東、高雄二地爲例，經過二年的調查、空氣品質較佳的爲每年的六月、七月及八月，空氣品質較差的季節則視不同地區而異，夏季轉秋季時，東北季風漸强，屏東平原及中央山脈山腳沿線，空氣品質劣於高雄各地，冬季轉春季時，2月以前，屏東縣新埤及枋寮等地空氣品質最劣，進入春季，西南季風漸强，屏東縣內陸地區及高雄縣山區不良空氣品質指數增加。園藝作物的影響常受到上述不良的空氣品質所影響，多種作物如胡瓜、香瓜、花卉類，蔬菜的小葉菜類，芫荽、茶菜，果樹類的番石榴果實或印度棗果實表面皆可看到由二次污染源所造成的病徵。二次污染源並可能引起多種果樹的營養缺乏，特別是鈣質缺乏，仍須進一步探討其對果樹生產的眞正影響。

關鍵詞：大氣品質、園藝作物

The Effect of Atmospheric Qualities on Horticultural Production in Southern Taiwan

Cheng-Chung Lin and Shwu-Huey Yang (Fengshan Tropical Horticultural Experiment Station, TARI)

ABSTRACT: Up to date, serious effect which caused by air pollutants on horticultural crops were occurred in southern Taiwan. There were 2 groups of air pollutants : one was accident of industrial operation, such as SOX, HF, HCl or Cl_2 etc. These were sources or materials for industry process. Besides, photochemical pollutants such as ozone (O_3) and peroxyacetyl nitrate (PAN) were another kind of air pollutants. Photochemical pollutants had a very important effect on horticulture. A survey of tropical fruits, vegetables and ornamental crops found many crops were infected and shown O_3 or PAN symptoms. A two year survey found good qualities

of air in southern Taiwan from June till August. While from summer to autumn, the dry monsoon from North-East caused poor quality of air in Pingtung area. In that period, Kaohsiung's air quality was better than Pingtung prefecture. When weather became wet, wet monsoon enforced wind to mountain area of southern Taiwan and caused poor air quality on those areas. Many horticultural crops such as cucumber, muskmelon, flowers and vegetables were affected by poor air quality. Fruit trees were also affected and showed symptoms on fruits as guava and Indian jujube. Photochemical pollutants might be cause plant mineral deficiency, e.g., calcium deficiency, and showed epidemical symptoms. These facts need more studies in the future.

Key words: Air quality, Horticultural crops.

前　言

本省空氣品質優劣常受大氣中污染源的種類及濃度而定，大氣中污染源的種類頗多(林, 1993a; 林, 1993b；林及楊, 1993；林及楊, 1994b；柳, 1993)，對於當地的作物都會造成影響(林, 1993b；林及楊, 1993；孫, 1993；孫, 1995)，並造成損失。根據環保署空氣品質監測網擴充完成後，監測站數目達66個，並依設置目的，分爲一般大氣、交通、工業、農業、背景及國家公園等六大類(方及陳, 1993)，但有關農業的空氣品質監測站只有三點，分別在彰化縣、台南縣及屏東縣三個農業地區，雖然在各農業縣中都有一般大氣監測站，但主要分佈在工業區或都會區附近，對農業環境品質的監督效果不大，同時根據83年環保署空氣品質監測報告中則未列有農業地區監測站(環保署,1994a)，進一步言，大多數監測站的空氣品質測定主要對象爲PM10, SOx, NOx, CO, O_3，僅少數測站有NMHC(非甲烷類)及鉛含量測定，對於一般農作物直接影響較大者，分別爲SOx及O_3二者，其他所造成的影響皆小，或無直接傷害的影響，但其中NOx(NO及NO_2)及HC化合物藉由光作用，而形成二次污染物臭氧(O_3)及過氧硝酸乙醯酯(PAN)則對植物造成直接傷害，本文就民國83年、84年進行調查指標作物龍葵受臭氧等爲害的病徵其週年分佈情形，並利用環保署空氣品質監測資料探討南部地區光化污染物臭氧等對園藝作物所產生的影響。

材料與方法

一、臭氧對園藝作物田間病徵鑑定及診斷

利用光學解剖顯微鏡(Olympus SZ-PT)，就調查地點高雄縣及屏東縣的園藝作物，記錄臭氧等爲害病狀及嚴重程度，臭氧爲害嚴重程度依發病部位臭氧的病斑數量多寡分爲四級：－:不出現; ±:類似臭氧病徵; +:臭氧發生輕微; ++:臭氧發生程度中等，+++：發生程度嚴重。就上述二點的調查資料如附表一及表二所示。

二、週年性光化污染物調查

利用龍葵爲一臭氧及過氧硝酸乙醯酯(PAN)的生物指標植物(林及楊, 1994a；孫, 1995)，並依龍葵葉片的受害程度區分爲5級：0-未發生病徵; 1-葉片發生病徵，受害病徵占調查葉片面積1-20%; 2-占調查面積21-40%; 3-占調查面積41-60%；4-占調查面積61-80%；5-占調查面積81-100%。就屏東縣及高雄縣二縣的空氣品質依龍葵的受害嚴重程度，而可瞭解當地的污染情形。

三、環保署空氣品質監測站資料分析

利用環保署空氣品質監測報告，調查高雄及屏東二縣空氣品質監測站仁武、美濃及潮州等三個監測站的不良空氣品質資料。當空氣污染指標(PSI) 超過100 (PSI＞100)的污染源爲臭氧所引起的日數或其他染源爲光化污染物的成分之一，如二氧化氮，統計當月發生日數並對照當地調查結果，以瞭解空氣品質影響當地作物的現狀。

結果與討論

由調查結果，多種園藝作物皆可受O_3及PAN爲害，根據調查蔬菜類24種，雜糧類 2 種，果樹 7 種,花卉 8 種，行道樹 2 種計41種，其中多種蔬菜包括菠菜、小白菜、芥藍、青江白菜等多種小葉菜類，會受到臭氧爲害並產生典型的臭氧病徵， 在調查的24類蔬菜中有17類可產生臭氧病徵,其中豆科及葫蘆科雖然僅調查 6 種, 但 6 種作物皆有臭氧病徵出現,二種雜糧甘藷及花生皆未出現臭氧病徵。

調查7種果樹葉片，僅有木瓜葉片出現臭氧病徵，其他果樹類則未出現典形的臭氧病徵，但發現一現象即檸檬、蓮霧的葉片柵狀組織細胞顏色漂白， 此一現象是否爲臭氧進入葉片組織並移至上層的柵狀組織，導致接觸臭氧的細胞漂白，仍待未來進一步探討 。

調查 8 種花卉，僅非洲鳳仙花具有典型的臭氧病徵，其他則無明顯受害現象，行道樹則二種樹種亦無受害現象。

至於對PAN反應則相較臭氧而言，多種蔬菜較不敏感。對PAN敏感的作物蔬菜類有萵苣、芥菜、芫荽、菜豆、菠菜、青江白菜、小白菜，雜糧以甘藷、花卉則龍吐珠、繡球花及仙丹等反應明顯。

利用龍葵爲光化污染物的生物性指標植物調查O_3及PAN的嚴重程度，經過二年的調查，發現二種光化污染物普遍存在屏東及高雄二縣，以臭氧而言，大社地區臭氧濃度週年分布較均勻，且在夏季上昇氣流旺盛時，減輕臭氧濃度，依病害指數大社、大樹及美濃爲同一級，而溪州略高於此三點，此外愈接近山脈如新威、六龜及大津等地病害指數接近，但臭氧爲害較集中，9月－翌年 1月臭氧濃度偏高。

屏東地區的臭氧發生較高雄縣嚴重，屏北地區的臭氧指數略高於高雄縣，且以高樹地區濃度最高，屏北地區其他區域則較高樹爲低，屏北山區臭氧週年性分布與高雄縣類似，5月、6月及7月上昇氣流旺盛，臭氧濃度偏低，但平原區如里港、鹽埔等地，此一時期亦有低濃度臭氧發生，屏南地區臭氧濃度普遍偏高，而臭氧濃度的分布也可看出有上昇氣流的稀釋效應，從 5月 - 9月，不同地點臭氧濃度偏低，而其他月份臭氧濃度通常偏高，以萬金地區臭氧濃度最高。

調查PAN對龍葵的爲害程度，高雄縣接近山區採樣地點如新威、六龜及大津等地發生較嚴重，大社、溪州及美濃則較輕微，夏季亦有上昇氣流稀釋效應，而84年度較83年度發生輕微主要發生季節偏向集中於秋季，10月至翌年 3- 4月。

屏東地區PAN發生，屏北地區與高雄縣發生之總罹病指數約略相同，但屏南地區則稍高，高雄縣PAN發生83年度較多，84年度則偏低，同理屏東地區亦有相同結果，屏北鹽埔、仕絨、里港等地集中於10月至翌年 3月，而高樹、三地門與屏南地區的瑪家、來義、餉潭及枋寮發生情形較類似。在夏季 7月時，亦有PAN發生，顯示當地 7月時空氣品質不佳，總病害指數仍以屏東南部較高，亦顯示當地受季風影響較大。

利用環保署空氣品質監測報告分別取出83年 1月-84年 9月的仁武、美濃及潮州三站監測臭氧資料圖 7 初步研判結果，仁武監測站顯示相關性不佳，可能原因爲監測站所設立的地點大抵接近人口眾多地區，交通流量偏多，產生的臭氧與田間農園或農地所接受的臭氧濃度不同。三個監測站的資料顯示美濃地區的臭氧偵測資料較相符於臭氧調查結果，故監測站設立地點的周遭環境對於當地臭氧濃度偵測影響很大。

誌　　謝

本篇報告由臺灣省環保處南區環境保護中心蕭志豪先生提供部份空氣品質監測報告資料，謹致謝忱。

引用文獻

行政院環境保護署 1994a 空氣品質監測報告 第一卷第一期
行政院環境保護署 1994b 空氣品質監測報告 第一卷第二期
行政院環境保護署 1994c 空氣品質監測報告 第一卷第三期
行政院環境保護署 1994d 空氣品質監測報告 第一卷第四期
行政院環境保護署 1995a 空氣品質監測報告 第二卷第一期
行政院環境保護署 1995b 空氣品質監測報告 第二卷第二期
行政院環境保護署 1995c 空氣品質監測報告 第二卷第三期
方淑慧、陳雄文 1993 臺灣地區空氣品質及防制之研析 P.76-101 臺灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會
林正忠 1993a 臺灣南部空氣污染類型及農作物污染防治 P.23-31 臺灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會
林正忠 1993b 公害引起之蔬菜病害問題 P. 273-282 蔬菜保護研討會專刊
林正忠、楊淑惠 1993 本省空氣污染及其對農作物影響之現況 p.65-72 農業環境品質整體規劃研討會
林正忠、楊淑惠 1994a 光化學污染物過氧硝酸乙醯酯在臺灣南部地區發生與調查 P.13 植物病理學會論文摘要
林正忠、楊淑惠 1994b 臺灣南部地方空氣污染種類及植物與農作物之病徵 P.13 植物病理學會論文摘要
柳中明 1993 臺灣的臭氧化污染分析 P. 251-264 臺灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會
孫岩章 1993 臺灣地區爲害農作物之主要空氣污染物及污染源 P.31-48 農業環境品質整體規劃研討會
孫岩章 1995 空氣污染對植物之影響 植保會刊 37(2)：141-156

表一、高雄縣臭氧等爲害地點及園藝作物爲害程度調查

調查地點		作物	調查日期	O_3反應	PAN反應
高雄縣	岡山	菠菜	1996. 3. 20	+	－
		小白菜		+	－
		茼蒿		±	－
		空心菜		+	－
		芥藍		+	－
		青江白菜		++	－
		萵苣		+	+
	彌陀	芹菜		+	++
		芫荽		++	－
	永安	蔥		+	－
		高麗菜		－	－
		茄子		－	－
		木瓜		+	－
		檸檬		±	－
		白花椰菜		－	－
		甜椒		－	－

表一、高雄縣臭氧等爲害地點及園藝作物爲害程度調查(續)

調查地點		作物	調查日期	O_3 反應	PAN反應
高雄縣	新威	大蒜	1996. 3. 27	-	-
		九層塔		-	-
		蔥		-	-
		毛豆		++	-
		菜豆(蔓性)		++	-
		菜豆(矮性)		+	+
		芹菜		-	+
		空心菜		±	-
		萵苣(劍葉)		±	+
		菠菜		±	+
	大津	九層塔		-	-
		甘藷		-	±
		隼人瓜		+	-
高雄縣	美濃	九層塔	1996. 3. 27	++	-
		蔥		-	-
		甘薯(紅葉)		-	-
		菜豆(蔓性)		++	+
		茄子		-	-
		花生		-	+
		萵苣(圓葉)		-	-
		青江白菜		++	+
		小白菜		+++	+
高雄縣	六龜	隼人瓜	1996. 3. 27	±	-
		萵苣(圓葉)		-	±
		菜豆(蔓性)		++	++
		番茄		++	-
		蔥		-	-
		番石榴		-	-
		蓮霧		±	-
		芒果(本地種)		-	-
		龍眼		-	-
		榕樹		-	±
		非洲鳳仙		+	-
		龍吐珠		±	+
		繡球花		-	+++
		朱槿		-	±
		仙丹		±	+
		百日草		-	-
		玫瑰		-	±

表二、屏東縣臭氧等爲害地點及園藝作物爲害程度調查

調查地點		作物	調查日期	O_3 反應	PAN反應
屏東縣	新園	洋香瓜-狀元	1996. 3. 21	+	-
		-秋華		+	-
	里港	菜豆(蔓性)	1996. 3. 22	+++	+
		毛豆		±	±
		豇豆		++	-
		辣椒		±	-
		檸檬		±	-
		苦瓜		++	-
		龍葵		+++	+
	高樹	阿勃勒	1996. 3. 27	-	-
	口社	菜豆		+	-
		紅藜		-	-
	三地門	木瓜		-	-
屏東縣	涼山	甘薯(紅葉)	1996. 3. 27	-	±
		木瓜		-	-
	來義	火鶴		-	-
	水底寮	木瓜		-	-
		芒果		-	-
		荔枝		-	-

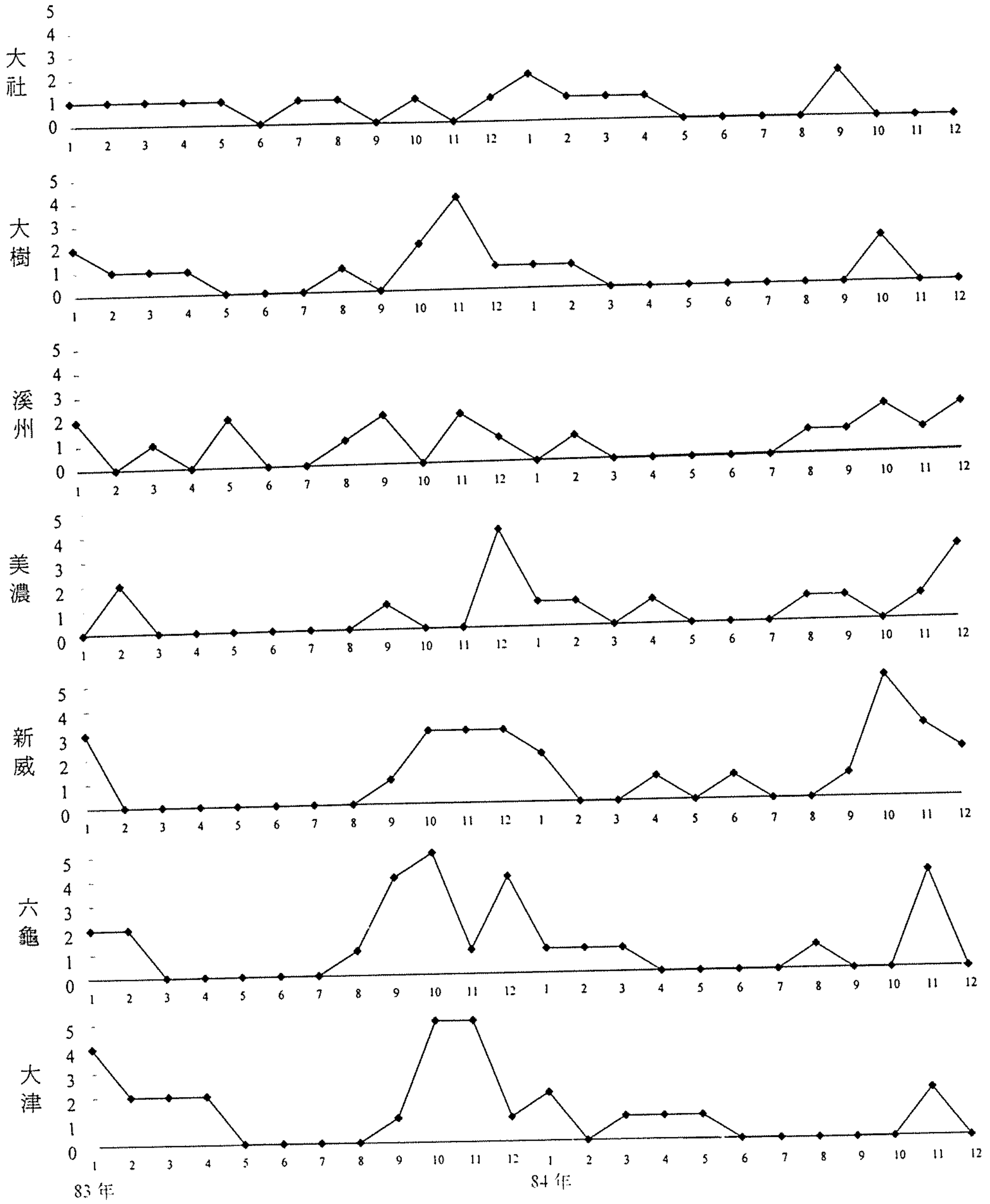


Fig 1. 1994～1995 年高雄縣臭氧爲害調查

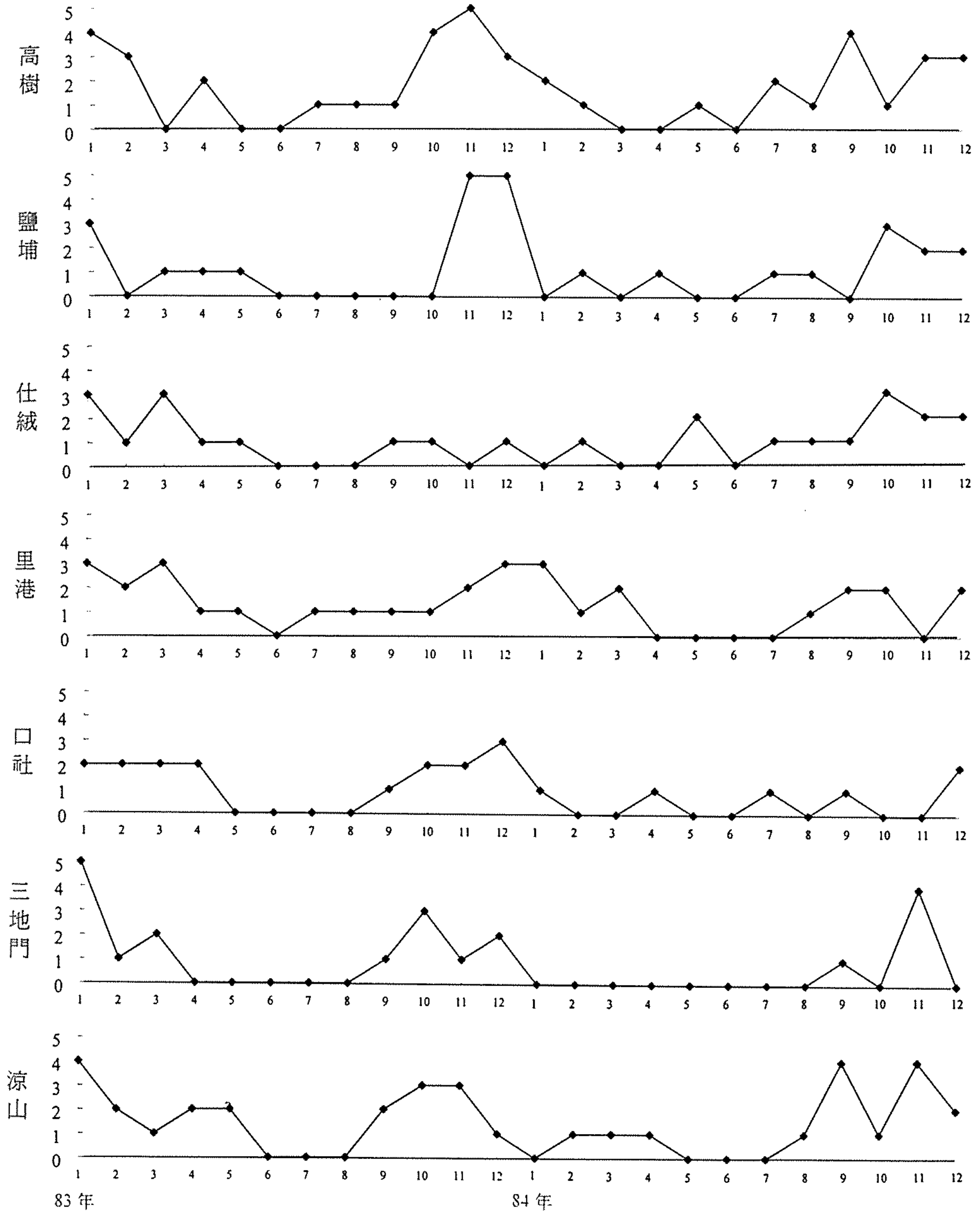


Fig 2. 1994～1995 年屏東地區(屏北)臭氧爲害調查

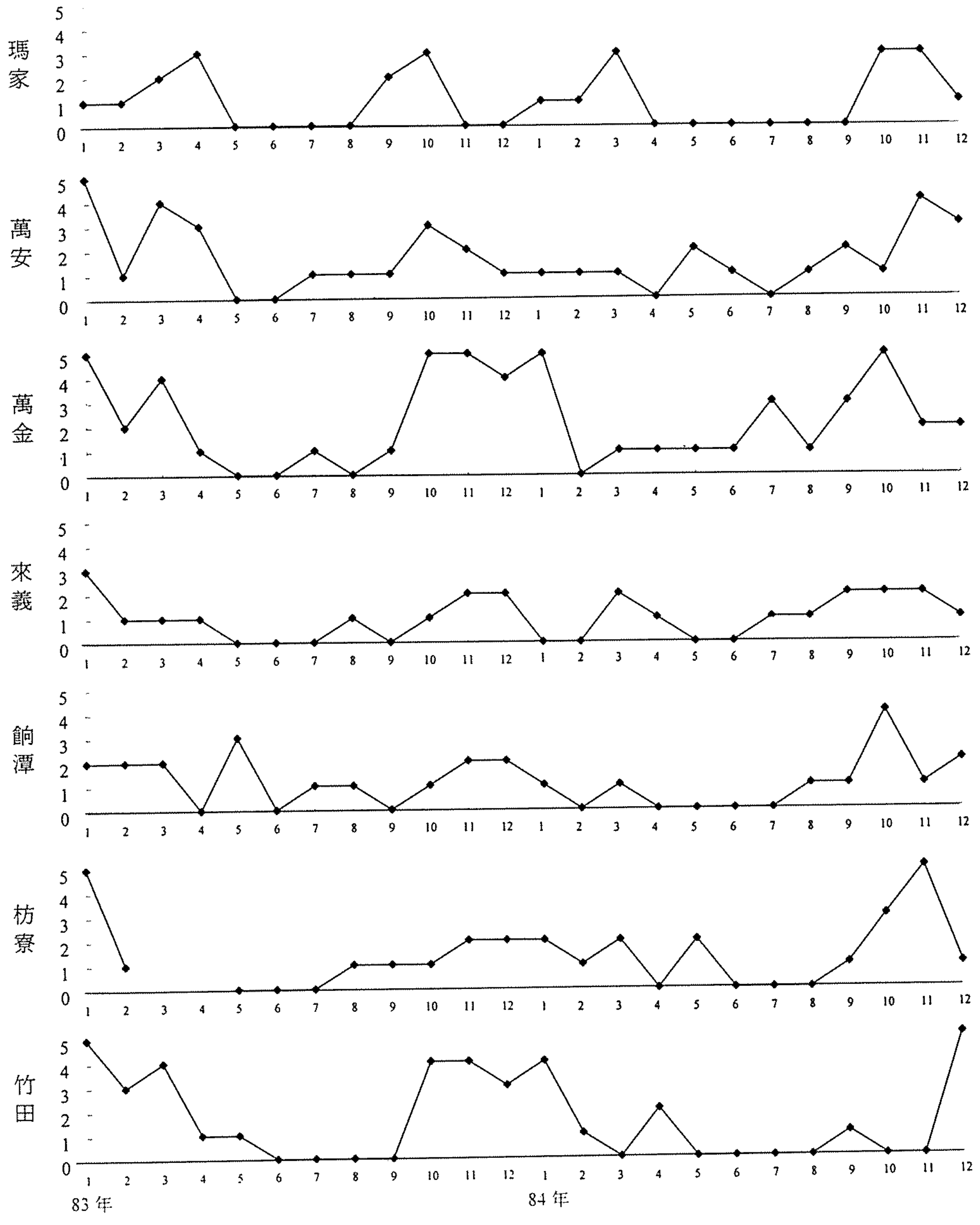


Fig 3. 1994～1995 年屏東地區(屏南)臭氧爲害調查

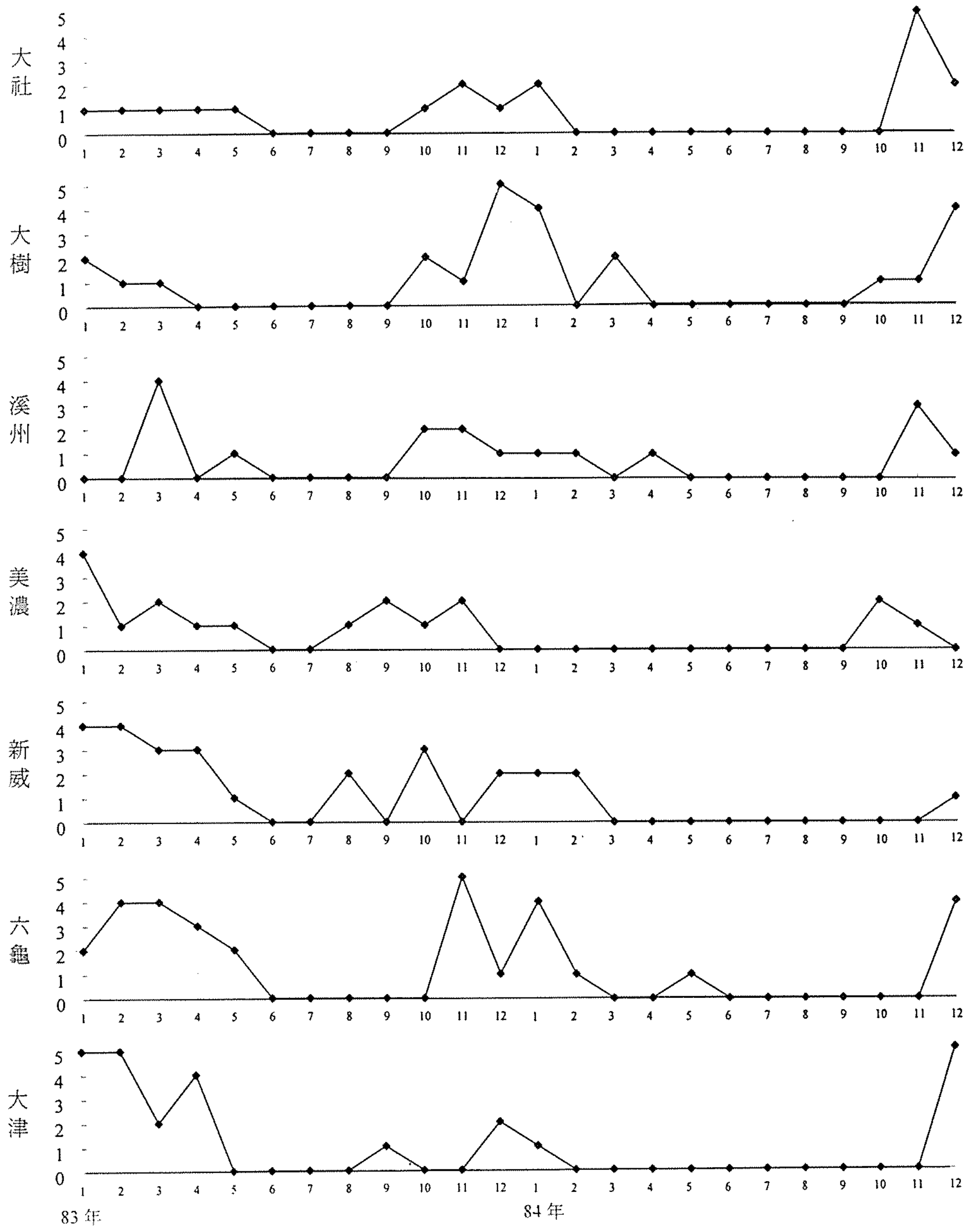


Fig 4. 1994～1995 年高雄縣 PNA 爲害調查

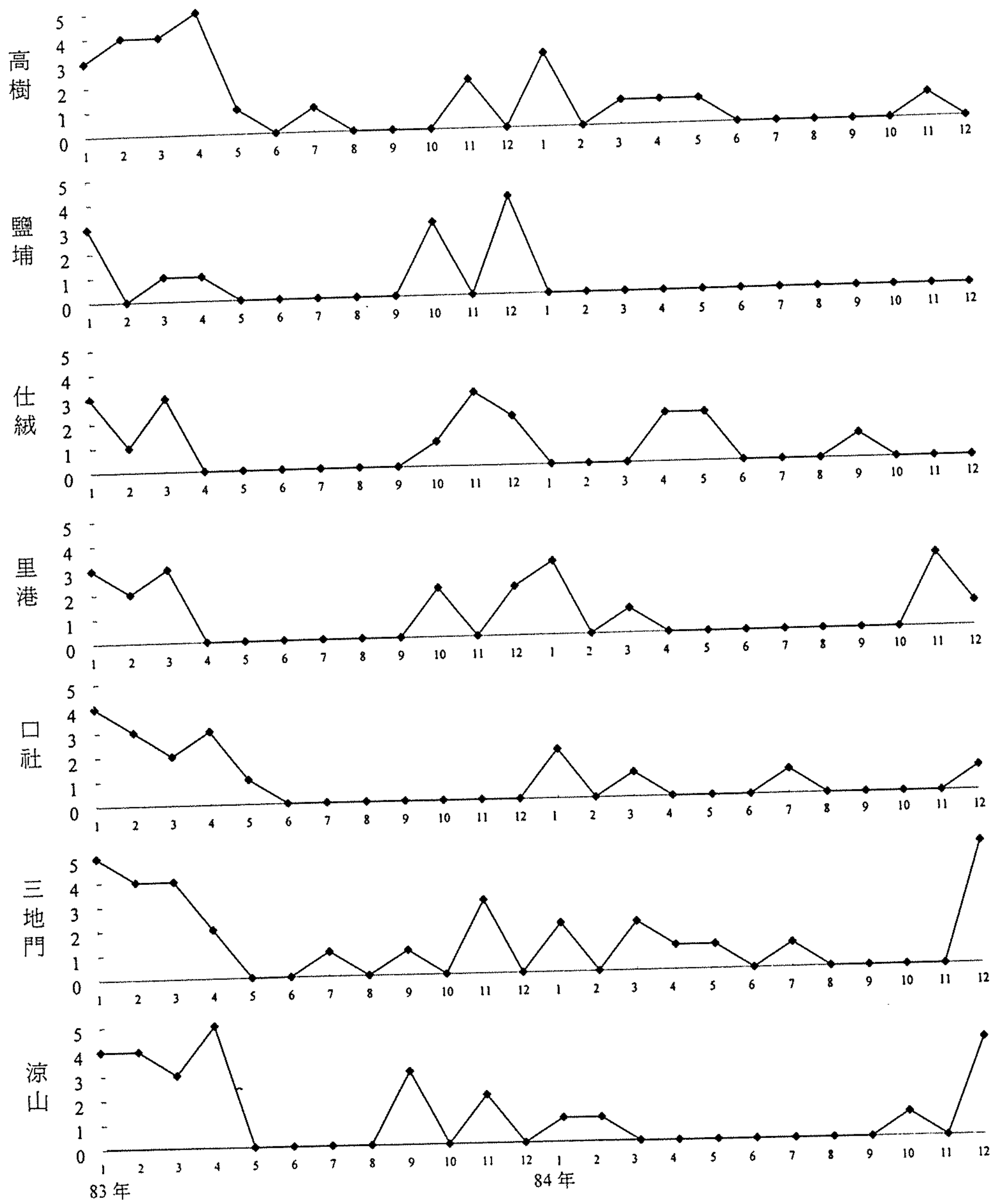


Fig 5. 1994～1995 年屏東地區(屏北) PAN 爲害調查

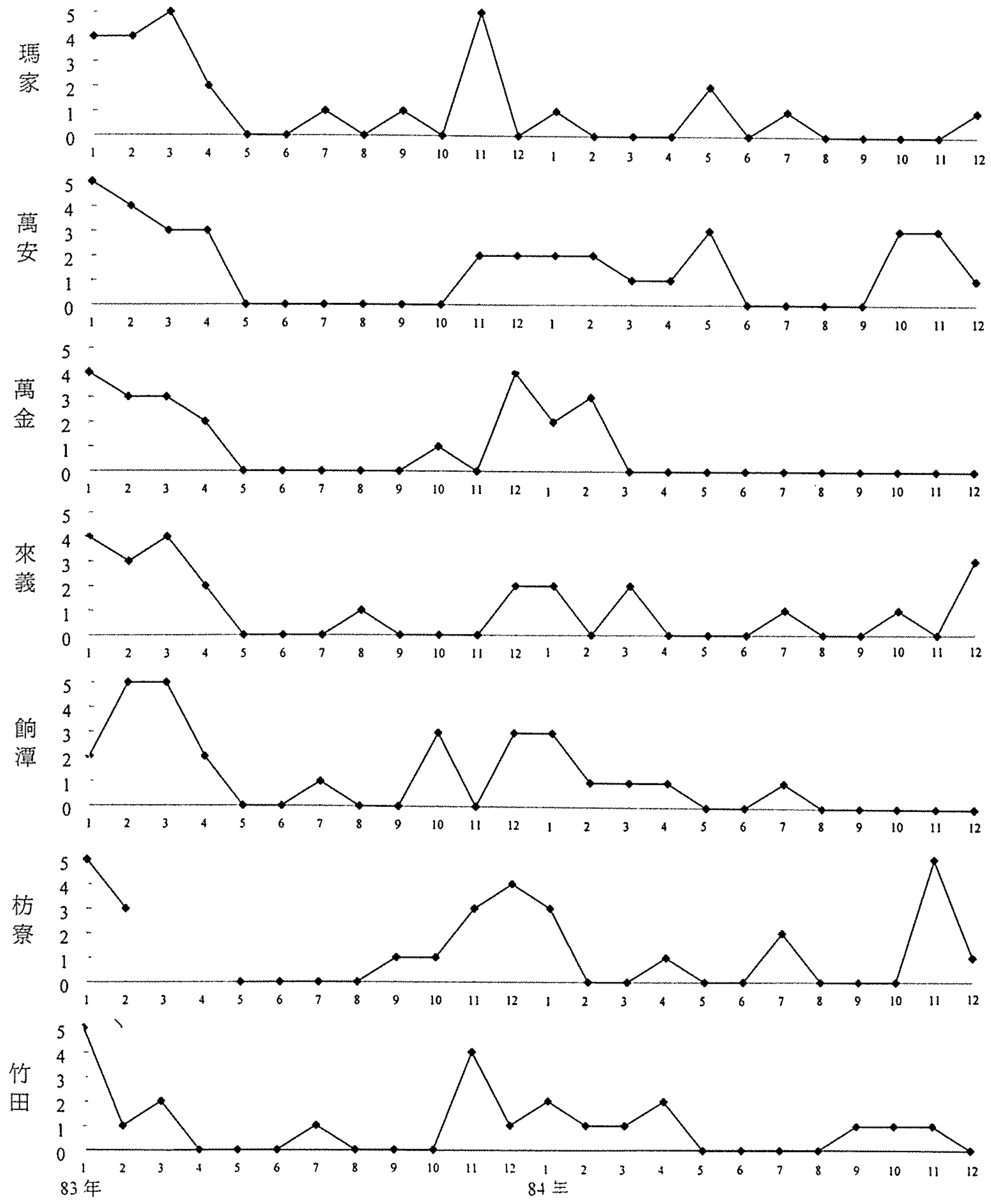


Fig 6. 1994～1995 年屏東地區(屏南) PAN 爲害調查

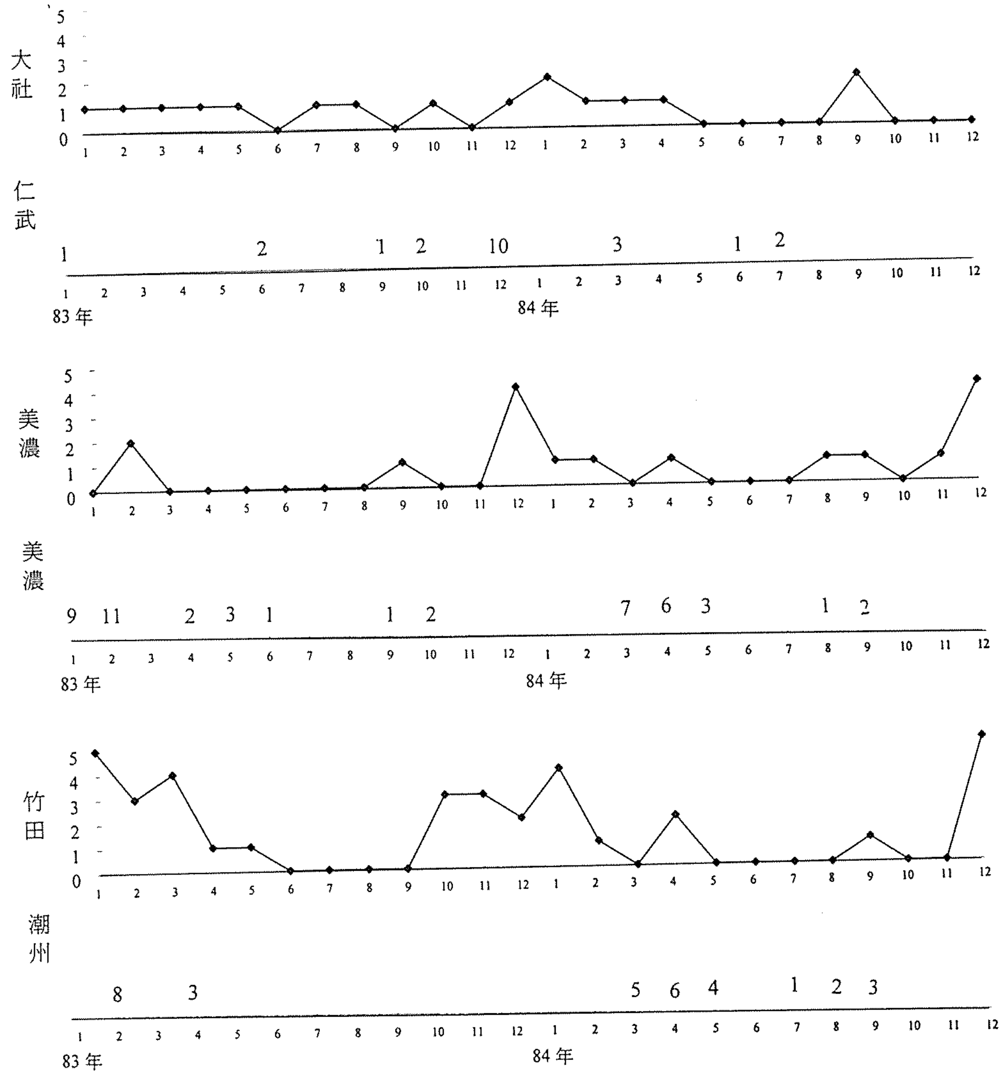


Fig 7. 仁武、美濃及潮州三空氣品質監測站 PSI＞100 之臭氧出現天數與調查龍葵爲害程度資料比較

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 111-120, 1996.

篩選水稻耐二氧化硫癒合組織及其再生植株

宮濟平 楊居成

國立中興大學植物學系

內 容

摘要……112
英文摘要……112
前言……112
材料與方法……113
結果……115
討論……118
引用文獻……119

篩選水稻耐二氧化硫癒合組織及其再生植株

宮濟平 楊居成

國立中興大學植物學系

摘 要

利用植物組織培養技術及施與適當的逆境處理，常用作篩選耐逆境組織細胞的方法。本研究選用二氧化硫作爲耐逆境篩選的條件，以秈稻台中再來1號未成熟胚癒合組織作爲實驗材料。結果如下：(1) 二氧化硫薰蒸台中再來1號未成熟胚癒合組織，隨著二氧化硫濃度(0, 0.4, 0.8, 1.6及3.2 ppm)上升，表面褐化率明顯提升(由對照組的3%提升至3.2 ppm二氧化硫薰蒸組的66%)，而再生率則上下升降。(2) 經不同二氧化硫薰蒸台中再來1號未成熟胚癒合組織的再生植株，葉片超氧化物歧化酵素(SOD)及過氧化酵素(POD)的活性增加3.74及5.56 (units・mg^{-1} protein)，相當於31%及38%增加率。

關鍵詞：水稻、耐二氧化硫癒合組織、再生株、抗氧化酵素

Sulfur Dioxide Tolerant Rice Calluses: Selection and Plant Regeneration

Jih-Pyng Gong and Jiu-Sherng Yang (Department of Botany, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC)

ABSTRACT: Under appropriate stress treatments, the methodology of plant tissue culture could be used in selecting stress-tolerant line or variety. In this report, we used sulfur dioxide stress and immature embryo-drived callus of rice strain, cultivar indica Taichung Native 1, that has good regeneration ability to select stress-resistant clone. The results were stated briefly: (1) The brown ratio of TN1 calli increased from 3% for control ones to 66% for 3.2 ppm SO_2-fumed ones. However, the regeneration ratio of plantlet from the SO_2-fumed calli fluctuated. (2) The specific activity of superoxide dismutase (units・mg^{-1} protein) from the regenerated TN1 leaves increased 3.74 (31%) for 1.6 ppm SO_2- fumed calli. The peroxidase activity increased 5.56 units・mg^{-1} protein (38%) for 1.6 ppm SO_2 case.

Key words: Rice, SO_2-Tolerant Callus, Plant Regeneration, Antioxidant Enzymes

前 言

通常利用植物組織培養技術，以誘導植物突變種的產生，大量的應用於抗逆境新品系的篩選，如利用高鹽、低溫、乾旱、淹水及空氣污染等不良生長條件，都可作爲組織細胞培養的選種壓力，而篩選耐鹽、或耐其它不良環境的新品種(Yang *et al.*, 1982; 何，1988; 胡，1990)。

因爲台灣近年來高度工業化，各種污染隨之而來，其中以空氣污染的影響範圍最大。一般空氣污染物可以分成兩大類：第一類是固體浮塵，如塵埃及金屬粒子、第二類是氣體分子，如二氧化硫、臭氧、氮氧化物、氟化物、氯化物等。在這些空氣污染物中，二氧化硫爲主要的污染物之一。因爲水稻是台灣栽培最廣的作物，因此在各種空氣污染所引起的公害事件中，水稻的受害面積最大，損失也最爲嚴重(工，1984)。所以，如何篩選出耐二氧化硫的水稻品系，對台灣而言十分重要。本論文敘述利用該技術，應用於水稻癒合組織耐二氧化硫的篩選，以提高水稻耐二氧化硫的能力。

薰蒸植物二氧化硫，可促成植物體內各種自由基($O_2^{\cdot-}$、$HSO_3\cdot$、$OH\cdot$)及活性氧($^1O_2$、H_2O_2)大量增加(Shimazaki *et al.*, 1980; Tanaka et al., 1980; Tanaka *et al.*, 1982)。這些具有高度活性的分子，極易與植物體內大分子化合物起作用，造成變性而失去作用。Tanaka 等人(1982)指出二氧化硫會使Calvin Cycle中含硫氫鍵(-SH)酵素，如 glyceraldehyde-3- phosphate dehydrogenase、frucose-1,6-bisphosphatase 活性下降，而使得光合作用速率減少。自由基的產生亦促成生物膜上的不飽和脂肪酸發生脂質過氧化現象，而導致生物膜破裂變性(余，1982; Elatner, 1982; Peiser *et al.*, 1982)。

Furusawa 等人(1984)篩選耐高劑量paraquat煙草癒合組織細胞，其超氧化物歧化酵素(Superoxide dismutase, SOD)活性(20～222 units・mg^{-1} protein)比一般植株葉片(1.4 units・mg^{-1} protein)提高 14~159 倍。Tanaka等人(1988)把這些癒合組織的再生植株與未經paraquat篩選的再生植株，薰蒸2 ppm二氧化硫22小時，結果：未經篩選過的再生植株，經二氧化硫薰蒸後，其葉片明顯出現褐化壞死的病斑，而經篩選過的再生植株則無此現象。檢測其中超氧化物歧化酵素活性(2.34～5.42 units・mg^{-1} protein)，雖然不比癒合組織中高，但仍較正常對照組(0.88～2.77 units・mg^{-1} protein)高出2～3倍，然酵素活性僅提高1.46～2.65 units・mg^{-1} protein。Tanaka等人(1980)發現白楊(poplar)新葉對二氧化硫抗性較老葉高，主要是因爲新葉中超氧化物歧化酵素的活性比老葉高。Peister等人(1982)發現菠菜的葉綠體可有效利用超氧化物歧化酵素抑制亞硫酸根離子所造成的脂質過氧化現象，而亞硫酸根離子則是二氧化硫溶於水中後所存在的主要型式。

Khan等人(1982)發現隨著二氧化硫的處理濃度與時間的增加，過氧化酵素活性亦會隨著增加。但Tanaka等人(1980)以白楊爲材料，發現在二氧化硫處理時過氧化酵素的活性變化並不明顯。Tanaka(1988)經由paraquat所篩選的煙草組織細胞再生植株，對二氧化硫具有抗性，過氧化酵素亦無明顯的變化。

材料與方法

(一)供試材料

台中在來1號(TN1)水稻種子(由台灣省農業試驗所提供)置於培養皿中，加入70%酒精做稻種消毒，以100 rpm振盪3分鐘，以無菌水徹底洗淨藥液，放入30℃之定溫箱中催芽，每日水洗一次，待發芽後撒播於含有砂土的育苗盆中，約30天後移到定植盆中。盆中土壤預先混合適量之有機肥料(有機肥料/土壤：1/3～1/4)當作基肥，移植10天後施用氮肥(尿素)一次，每盆施用2克，以後每隔10～15天施用氮肥一次，每盆2克。在移植後一週施用適量好年冬(3%加保扶粒劑)以防治蟲害，以後每隔10天施用一次。生長至開花10天後，作爲獲取未成熟胚之試驗材料。

(二) 試驗方法

1. 培養基配方

(1) REC_1：係誘導未成熟胚形成癒合組織及其生長之培養基，成份爲N6(Chu *et al*., 1975) 培養基的無機鹽類及MS培養基的有機成份，另外添加 0.5 g/l casein hydrolysate、1 mg/l 2,4-D、3%蔗糖及0.9 % agar，pH 5.7±0.1。

(2) K_1：誘導癒合組織分化成植株的培養基，其組成份爲N6培養基的無機鹽類及MS培養基的有機成份，再添加2 mg/l kinetin、3%蔗糖及0.9% agar，pH 5.7±0.1。

2. 標準氣體二氧化硫(10 ppm)

混合10 ppm SO_2與空氣，打入鋼瓶中儲存備用。購自三福化工股份有限公司(台中市工業區三路九號)，再自行經由SO_2 monitor(型式：8850，美國Monitor Lab. Co.)測定。

3. 未成熟胚癒合組織誘導、繼代培養與組織分化

係依據蔡(1988)及藍(1990)法進行。盆栽台中再來1號(TN1)於開花10天後，摘取其幼小穎花，除去內外穎片，移至無菌臺內以1%次氯酸鈉振盪消毒10分鐘，無菌水沖洗3次，再以鑷子取出未成熟胚，長度大約1～1.5 mm，胚軸面朝下，接種於固體REC_1培養基上，每支培養管(15×2.5 cm^2)含有10 ml的培養基，培養基表面接種3個未成熟胚。3星期後，待未成熟胚誘導而來的癒合組織生長至1.5～1.8 cm^2後，作爲薰氣二氧化硫試驗之材料。

4. 二氧化硫薰蒸癒合組織

移植癒合組織至125 ml三角瓶中(含有25 ml REC_1培養基)，經生長一星期後，把polypropylene質料封口更換爲血清塞，再以過濾消毒方式，分別注入6、12、24及48 ml之10 ppm SO_2氣體，使瓶內SO_2濃度分別爲0.4、0.8、1.6及3.2 ppm。於第一次注入SO_2處理後，每間隔一星期注入SO_2一次，共計注入三次後，繼代培養癒合組織於新鮮的REC1培養基中。全部過程重覆二次繼代培養(共計九次注入SO_2處理)，第九次SO_2處理後，移植癒合組織至K_1培養基中培養，使其分化形成植株。

5. 超氧化物歧化酵素(superoxide dismutase, SOD)及過氧化酵素(peroxidase, POD)活性之測定

(1) 樣品萃取液的製備

方法參照許(1988)法並稍作修改。取0.5克的葉片，剪碎置於冰浴上的研缽內，加入海砂以及液態氮磨碎後，再加入10 ml萃取緩衝溶液〔內含0.05 M Tris-HCl, pH =7.8, 1 mM EDTA-Na_2, 0.32%(v/v) Triton-X-100〕及0.4克的PVPP (polyvinylpolypyrrolidone)繼續研磨以10,000×g離心20分鐘後，取上清液，倒入透析袋，於25 mM磷酸緩衝溶液(pH 7.8)中，以每7小時置換一次磷酸緩衝溶液，透析20小時後，作爲樣品萃取液備用。

(2) 超氧化物歧化酵素(SOD)活性之測定

此法按照許(1988)法而定。於1 ml反應液中包含50 mM potassium phosphate buffer (pH 7.8)、0.1 mM EDTA-Na_2、0.025 mM cytochromec、0.01 mM xanthine、100 ml樣品萃取液，上述溶液混合後，置於室溫30～40分鐘，以穩定550 nm吸光度。把xanthine oxidase加入反應液即開始反應，在同一波長(550 nm)視單位時間內吸光度之變化。一個單位(unit)之SOD活性被定義爲與未加樣品萃取液時比較，可抑制50% cytochrome c還原之速率。

(3) 過氧化酵素(POD)活性之測定

此法按照許(1988)法而定。於1 ml反應液中包含100 mM potassium phosphate buffer (pH 6.1)、0.1 mM EDTA-Na_2、1 mM guaiacol、0.005% (v/v) H_2O_2及10 ml樣品萃取液。樣品萃取液加入後，以分光光度計，在波長470 nm視單位時間內吸光度之變化。以一分鐘加一個吸光度定義爲一單位過氧化酵素的活性。

6. 資料分析

(1) 癒合組織表面褐化率及再生率均以百分比(%)表示，每個處理組均超過30個癒合組織，以卡方測驗(chisquare test)加以分析，比較其差異性。

(2) 癒合組織表面褐化率(%)

$$= \frac{\text{No. of Brown Calli (>50\%)}}{\text{No. of } SO_2 - \text{Fumed Calli}}$$

即表面積褐化超過50%的癒合組織個數，除以SO_2薰蒸過的癒合組織個數。

(3) 每次繼代培養，皆調查癒合組織褐化率(%)，若所得之值超過50%時，則移植此組癒合組織至K_1再生培養基培養再生植株。

結　　果

(一) 二氧化硫薰蒸水稻癒合組織

分別以0、0.4、0.8、1.6及3.2 ppm之二氧化硫，薰蒸台中再來1號幼胚癒合組織，發現二氧化硫可促進癒合組織表面褐化率(表1及圖1)及影響再生率(表2～4)。

(1) 二氧化硫促進癒合組織表面褐化率

分別以不同濃度二氧化硫薰蒸台中在來1號癒合組織，隨著二氧化硫薰蒸濃度的增加，癒合組織表面褐化率亦增加(表1及圖1)。在未經二氧化硫薰蒸，癒合組織褐化面積超過50%只佔3.13%，而經0.4 ppm、0.8 ppm、1.6 ppm二氧化硫薰蒸，則其褐化率有明顯增加，可維持於18%左右，但當二氧化硫濃度增至3.2 ppm時，於較短薰蒸時間內褐化率則明顯增至65.63%。

(2) 二氧化硫對癒合組織再生植株的影響

以二氧化硫薰蒸台中在來1號癒合組織9次後，移至K1再生培養基，生長4星期後計算其再生率(表2～4)：培養管口蓋由polypropylene薄膜換爲血清塞會降低再生率(6.25比25.00)。於0.4 ppm二氧化硫處理後，癒合組織再生率增加至21.88% (7/32)，而當二氧化硫濃度增至1.6 ppm時，再生率降至等於對照組。又經由3次3.2 ppm二氧化硫處理後，其再生率降至3.13 % (1/32)。

(二) 再生植株葉片中超氧化物歧化酵素(SOD)及過氧化酵素(POD)

台中在來1號(TN1)癒合組織經3次繼代培養、9次二氧化硫薰蒸處理後，於K1培養基再生所得的幼苗(圖2)分別測其葉片中超氧化物歧化酵素(SOD)、過氧化酵素(POD)活性及可溶性蛋白質含量(表5)。相對於對照組SOD而言，0.8 ppm及1.6 ppm薰蒸組中的SOD 酵素活性(units・mg^{-1} protein)增加3.15及3.74，相當於約26%及31%增加率，然

表 1. 不同農度二氧化硫熏蒸台中在來一號癒合組織，表面褐化率的影響

(SO_2) ppm	褐化率(%)	0.0 ppm 相對於各濃度處理組	
		d.f.	x^2
0.0	3.13(1/32)	1	
0.4	18.75(6/32)	1	4.0100 *
0.8	21.88(7/32)	1	5.1429 *
1.6	15.63(5/32)	1	2.9425
3.2	65.63(21/32)	1	27.7056 ***

*. 代表0.0%對照組作卡方測驗，達 5 %的差異顯著
**. 代表0.0%對照組作卡方測驗，達 1 %的差異顯著
***. 代表0.0%對照組作卡方測驗，達0.1%的差異顯著

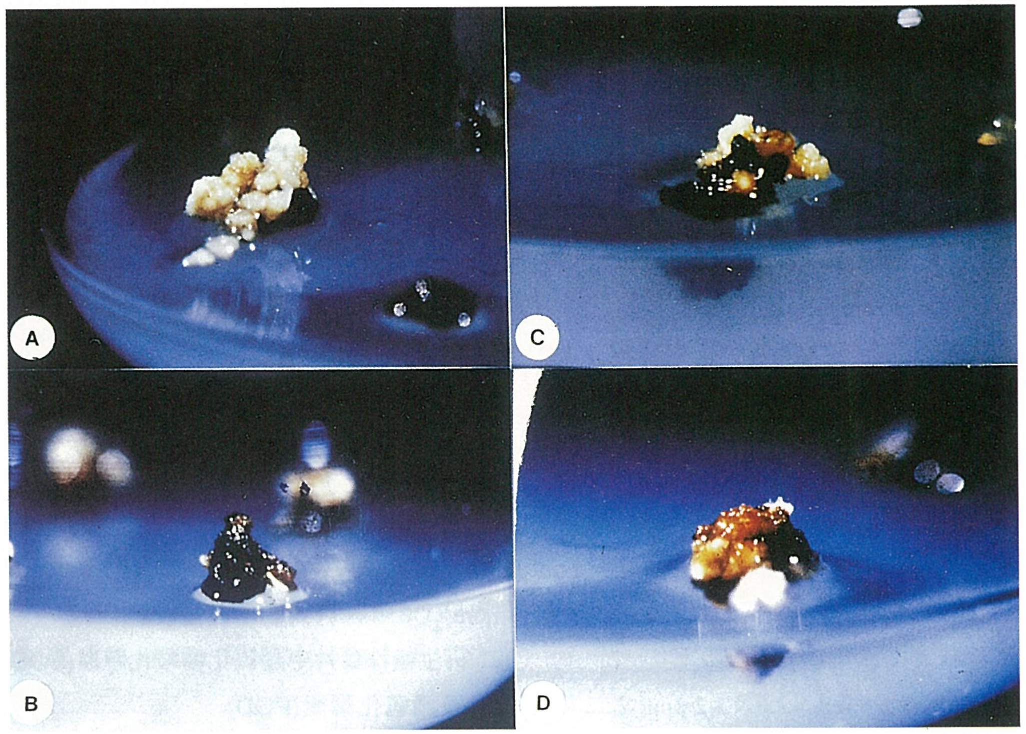


圖1. 在不同濃度二氧化硫熏蒸臺中在來一號癒合組織，表面褐化的程度。
A. 0.0 ppm 二氧化硫處理下，表面褐化低於20％
B. 0.8 ppm 二氧化硫處理下，表面褐化約100％
C. 1.6 ppm 二氧化硫處理下，表面褐化約45％
D. 3.2 ppm 二氧化硫處理下，表面褐化約80％

表2. 經不同濃度二氧化硫臺中在來一號未成熟胚癒合組織後的再生率

SO_2 conc. -ppm-	No.of plant regenerated	% of plant regenerated
0[a]	8	25. 00
0	2	6. 25
0. 4	7	21. 88
0. 8	4	12. 50
1. 6	2	6. 25
3. 2[b]	1	3. 13

每組處理癒合組織數為32個；經由三次繼代培養，每代繼代培養處理二氧化硫三次。
[a]：以polypropylene 封口的生長環境之再生率
[b]：3.2 ppm 處理組為第一代的再生率。

表3. 利用卡方測驗分析不同濃度二氧化硫熏蒸臺中在來一號未成熟胚癒合組織，對其再生率的影響

0[a] ppm 相對於各濃度處理組	d.f.	x^2
0	1	4. 2667*
0. 4	1	0. 0871
0. 8	1	1. 6410
1. 6	1	4. 2667
3. 2	1	6. 3354

*：代表與0.0％對照組作卡方測驗，達5％的差異顯著
a：以 polypropylene 封口的生長環境之再生率

表 4. 利用卡方測驗分析不同濃度二氧化硫熏蒸臺中在來一號未成熟胚癒合組織，對其再生率的影響

0 ppm 相對於各濃度處理組	d.f.	x^2
0. 0[a]	1	4. 2667
0. 4	1	3. 2323
0. 8	1	0. 7356
1. 6	1	0. 0000
3. 2	1	0. 3497

a：以polypropylene 封口的生長環境之再生率
*：達5％的差異顯著

表 5. 台中在來一號癒合組織經過三次繼代培養，九次二氧化硫熏蒸後，再生植株葉片超氧化物歧化酵素(SDD)及過氧化酵素(PDD)的活性與葉片蛋白質的含量

	SO_2 concentration (ppm)			
	0	0. 4	0. 8	1. 6
Superoxide dismutase				
(unit · mg^{-1} protein)	12. 00	6. 50	15. 15	15. 74
	(100)	(54)	(126)	(131)
(unit · g^{-1}fresh wt)	174. 63	137. 02	330. 20	163. 86
	(100)	(77)	(189)	(94)
Peroxidase				
(unit · mg^{-1} protein)	14. 59	12. 07	12. 64	20. 15
	(100)	(83)	(87)	(138)
(unit · g^{-1} fresh wt)	218. 33	253. 66	275. 71	210. 00
	(100)	(116)	(126)	(98)
Protein				
(mg protein · g^{-1} fresh wt)	14. 98	21. 06	21. 08	10. 42
	(100)	(140)	(141)	(70)

台灣省農業試驗所藏書

圖 2. 經1.6 ppm 二氧化硫熏蒸台中在來一號癒合組織後，由K_1培養基再生植株

而在0.4 ppm 薰蒸組卻下降5.50，相當於44%，若以SOD的單位鮮重活性而言，則只有0.8 ppm薰蒸組有明顯上升155.57 (89%)，其餘均下降。處理組POD的活性在相對於對照組時，只有在1.6 ppm二氧化硫薰蒸組POD增加5.56 units・mg^{-1} protein (38%)，其餘二處理組則下降，若以單位鮮重而言，則POD活性(units・g^{-1} fresh wt)則在0.4 ppm及0.8 ppm薰蒸組增加35.33 (16%)及57.38 (26%)，但在1.6 ppm薰蒸組則回復與對照組類似。可溶性蛋白質含量在0.4 ppm及0.8 ppm薰蒸組上升40%及41%，但是當二氧化硫濃度提高至1.6 ppm時，蛋白質含量則下降約30%。

討　論

利用植物組織培養篩選耐二氧化硫品系，只有Tanaka *et al.* (1988)在篩選耐高劑量paraquat煙草癒合組織之再生植株時，發現這些耐paraquat殺草劑的煙草，也具耐二氧化硫的特性。經測其葉片中抗氧化酵素，發現只有超氧化物歧化酵素(SOD)有明顯上升，因而推測SOD是植物中抗二氧化硫極爲重要的酵素。經二氧化硫篩選過程，篩選後再生之台中在來1號植株葉片中SOD活性，發現在0.8 ppm二氧化硫處理組其SOD不論在單位鮮重活性或是單位蛋白活性均有上升之現象，尤其在單位鮮重活性上升非常明顯(表5)。然而1.6 ppm二氧化硫處理組SOD的單位蛋白質活性雖有上升之現象，但由於葉片中的蛋白質含量減少，導致其單位鮮重活性不升反降。雖然並無資料指出經二氧化硫處理的癒合組織所再生之植株葉片蛋白質含量會下降，但Khan及Malhotra (1983)證明二氧化硫會導致閉果松針葉中蛋白質含量下降。這應可解釋1.6 ppm二氧化硫處理組因受高濃度二氧化硫薰蒸，而抑制癒合組織中蛋白質的合成，進而影響再生植株中蛋白質的合成，致使蛋白質含量下降。但在0.4 ppm及0.8 ppm二氧化硫薰蒸下，再生植株葉片中蛋白質含量則明顯上升，其原因並不清楚。二氧化硫進入植物體，先與水生成HSO_3^-後，再生大量的自由基(free radical)如：$O_2^{\cdot -}$、OH・及活性氧(active oxygen)如：$^1O_2$、H_2O_2(余，1982; Asada, 1980; Shimazaki et al., 1980; Tanaka *et al.*, 1980; Tanaka et al., 1982; Yang, 1970)。而這些生成物會對植物造成極大的傷害，如與膜內未飽合脂肪酸起作用(Shimazaki *et al.*, 1980; Lstner *et al.*, 1986)，造成脂質過氧化(lipid peroxidation)現象，使生物膜破壞，造成植物細胞死亡。

而由表1所顯示褐化率亦可得到二氧化硫對癒合組織表面傷害的證明。褐化率的提升極有可能是由於二氧化硫濃度提升，導致自由基及活性氧的含量增加，使得膜的破壞加劇所造成。而3.2 ppm二氧化硫處理組所造成之褐化率，與正常對照組之差異極爲顯著。而二氧化硫對台中在來1號癒合組織再生率的影響(表2～4)，亦可看出1.6 ppm以上高濃度的二氧化硫，對其再生率有顯著影響，由於未有相關報告，因此無法瞭解是何原因造成此一現象，但應是二氧化硫的毒害使然。至於加封血清塞及加封polypropylene膜之對照組之間差異亦顯著，可能是由於加封血清塞後，降低空氣的交換率所致。經以二氧化硫處理台中在來1號未成熟胚癒合組織的方法與過程，在加以癒合組織表面的褐化率及處理過後再生植株之再生率爲指標，可篩選到耐二氧化硫組織細胞。又比較表5所示SOD活性數值(units・mg^{-1} protein)與Tanaka等人(1988)於煙草癒合組織試驗結果：(a)本項者爲31%活性增加率，低於Tanaka氏爲2～3倍很多。(b)本項者爲3.74 units・mg^{-1} protein活性增加量，大於Tanaka氏爲1.46～2.65 units・mg^{-1} protein間二倍。葉片POD活性增加率而言(表5)，較少證明其對二氧化硫的耐性有關。因此，利用二氧化硫直接處癒合組織的方法有效與否，還有待直接測試再生植株薰蒸二氧化硫而定。

引用文獻

余叔文 1982 二氧化硫對植物的傷害和植物對二氧化硫的抗性。植物生理學報(中國) 6:345-352。

何偉頁 1988 植物組織培養在誘變育種上的應用。國科會生命科學研究推動中心專刊第十六集。pp.115-120。

胡含、陳英 1990 植物體細胞遺傳與作物改良。pp.271-285. 北京大學出版社，淑馨出版社，台北。

許博行 1988 硫化物污染物對木本植物生化生理反應之影響。國立中興大學植物學研究所博士論文，台中市。

蔡新聲 1988 植物組織培養在農業上之應用。國科會生命科學研究推動中心專刊第十六集。pp.99-114。

藍舒凡 1990 水稻未成熟胚培養來源癒合組織長期培養分化能力之探討。國立中興大學農藝研究所碩士論文，台中市。

Asada, K. 1980. Formation and scavenging of superoxide in chloroplasts, with relation to injury by sulfur dioxide. Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud. No. 11:165-179.

Chu, C. C., C. C. Wang, C. S. Sun, H. Chen, K. C. Y. Chu and F. Y. Bi. 1975. Establishment of an efficient medium for anther culture of rice through comparative experiments of nitrogen source. Scientia Sinica 18: 659-668.

Elstner, E. E. 1982. Oxygen activation and oxygen toxicity. Ann. Rev. Plant Physiol. 33: 73-96.

Elstner, E. F. 1986. Metabolism of actived

oxygen species. In: The Biochemistry of Plants (P. K. Stumpf and E. E. Conn, eds.) pp.253-313, London.

Frursawa, I., K. Tanaka, P. Thanutong, A. Mizuguchi, M. Yazaki and K. Asada. 1984. Paraquat resistant tobacco calluses with enhanced superoxide dismutase activity. Plant Cell Physiol. 25:1247-1254.

Khan, A. A. and S. S. Malhotra. 1982. Peroxidase activity as an indicator of sulfur dioxide injury in jack pine and white birch. Biochem. Physiol. Pflanzen. 177: 643-650.

Khan, A. A. and S. S. Malhotra. 1983. Protein biosynthesis in jack pine and its inhibition by sulfur dioxide. Phytochem. 22: 1325-1328.

Peiser, G. D., M. C. C. Lizada and S. F. Yang. 1982. Sulfite-induced lipid peroxidation in chloroplasts as determined by ethane production. Plant Physiol. 70:994-998.

Shimazaki, K., T. Sakaki, N. Kondo and K. Sugahara. 1980. Active oxygen participation in chlorophyll destruction and lipid peroxidation in SO_2-fumigated leaves of spinach. Plant Cell Physiol. 21: 1193-1204.

Tanaka, K., I. Furusawa, N. Kondo and K. Tanaka. 1988. SO_2 tolerance of tobacco plants regenerated from paraquat-tolerant callus. Plant Cell Physiol. 29:743-746.

Tanaka, K., T. Otsubo and N. Kondo. 1982. Participation of hydrogen peroxide in the inactivation of Calvin-cycle SH enzyme in SO_2-fumigated spinach leaves. Plant Cell Physiol. 23:1009-1018.

Tanaka, K. and K. Sugahara. 1980. Role of superoxide dismutase in defense against SO2 toxicity and increase in superoxide dismutase activity with SO_2 fumigation. Plant Cell Physiol. 21:601-611.

Yang, S. F. 1970. Sulfoxide formation from methionine or its sulfide analogs during aerobic oxidation of sulfite. Biochem. 9: 5008-5014.

Yano, S., M. Ogawa and Y. Yamada. 1982. Plant formation from selected rice cells resistant to salts. In: Proc. 5th Intl. Cong. Plant tissue and cell culture. pp.495-496.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 121-133, 1996

部份農藝作物對人工模擬酸雨之徵狀反應

楊純明[1] 蘇慕容[1] 李裕娟[1] 張愛華[2]

[1] 臺灣省農業試驗所農藝系
[2] 臺灣省農業試驗所農化系

內　容

摘要 …… 122
英文摘要 …… 122
前言 …… 123
篩選酸雨敏感指標作物之重要性 …… 123
人工模擬酸雨之處理方法與調查項目 …… 124
部份農藝作物對人工模擬酸雨之徵狀反應 …… 125
(一)株(莖)高及葉片數之改變 …… 125
(二)植株各部位重量比及根稈比之改變 …… 125
(三)生質量比及葉面積比之改變 …… 127
(四)葉片斑點之出現 …… 128
(五)葉片均質液電導度、酸緩衝量及酸鹼值 …… 129
(六)葉片電解質滲漏液電導度及酸鹼值 …… 129
結語 …… 132
誌謝 …… 133
引用文獻 …… 133

部份農藝作物對人工模擬酸雨之徵狀反應

楊純明[1] 蘇慕容[1] 李裕娟[1] 張愛華[2]
[1] 臺灣省農業試驗所農藝系
[2] 臺灣省農業試驗所農化系

摘　要

我國現有之環島空氣品質與酸雨監測站已證實臺灣地區空氣污染與酸雨問題之嚴重性，加上鄰近中國大陸近年來由於經濟快速起飛，酸性物質之排放大量增加，以及其他地區污染物長程氣流的傳送，未來臺灣地區的空氣污染與酸雨可能日趨惡化。雖然政府已積極管制空氣污染物及其他污染源的排放，然而污染物質的長程輸送短期內仍難解決，尤其對於廣大農業地區及長期低濃度存在之空氣污染物質，目前尚無法進行系統性的監測。因此確有必要儘速進行酸雨有關的研究，究明農作物受到酸雨淋洗的反應徵狀及影響機制，並廣設酸雨監測系統，在尚未全面爆發「農業的酸雨災難」之前，研發出減少或避免酸雨危害的策略及措施，使臺灣地區的農業得以永續發展，更使民生需要的糧食供應不虞匱乏。酸雨對農作物之危害，包含外觀上的傷害、植體組成分的變化、生理反應的異常及生長的阻滯與產量減少等，而作物的反應程度則依作物種類、品種、及生育期而不同，亦因酸雨組成分與強度、雨期長短、及雨量多寡有別。本文研究乃在於探討部份農藝作物對人工模擬酸雨的反應徵狀，瞭解所選用作物的徵狀表現及差異，以應用於未來篩檢酸雨敏感指標作物。

關鍵詞：人工模擬酸雨、徵(性)狀、農藝作物、農藝性狀、乾物質、電導度。

Responses of Some Agronomic Crops to Simulated Acid Rain

Chwen-Ming Yang,[1] Muh-Rong Su,[1] Yuh-Jyuan Lee,[1] and Ay-Hwa Chang[2]
([1] Crop Stress Research, Department of Agronomy; [2] Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 41301, ROC

Abstract: It is proved from the island-wide air pollutant and acidic wet precipitation monitoring networks that air pollution and acid rain become serious environmental problems in Taiwan nowadays. In addition to the long-distance transport of air pollutants and acidic substances from the neighboring districts, such problems can be expected to further deteriorate our environmental quality and human safty. Despite the effort of strict measures in controlling pollutants release by government, the unsolving problem of long-distance transportation will continue paying the price. To ensure a sustaining development of Taiwan agriculture, it is necessary

to carry on the related research to study the mechanism causing acid rain injury and the ways to reduce or prevent damages. It is the purpose of this paper to evaluate the characteristics of some agronomic crops in response to simulated acid rain for the screening of acid rain sensitive index crops in the near future.

Key words: Simulated acid rain, Response, Agronomic crops, Agronomic character, Dry matter, Electrical conductivity.

前　言

我國現有之環島空氣品質與酸雨監測站已證實臺灣地區空氣污染(air pollution)與酸雨(acid rain，或稱酸性濕沈降 acidic wet precipitation)問題之嚴重性，加上鄰近中國大陸近年來由於經濟快速起飛，酸性物質之排放大量增加，以及其他地區污染物長程氣流的傳送，未來臺灣地區的空氣污染與酸雨可能日趨惡化。雖然政府已積極管制空氣污染物及其他污染源的排放，然而污染物質的長程輸送短期內仍難解決。甚且受限於儀器設備、人員及經費的不足，目前對於廣大農業地區及長期低濃度存在之空氣污染物質尚無法進行系統性的監測。空氣污染與酸雨對於生物和生態環境的傷害極大，農業產業受到的長遠影響更難估計。因此確有必要在農業區建立全面而密集的觀測網，以實測方式或指標作物區型式，觀測及區分本地與長程污染源，瞭解現況並預測未來問題的演變。同時，亦應儘速進行相關試驗研究，評估空氣污染物與酸雨對重要農作物、土壤、水域等之危害，研擬因應對策，提供資訊作爲環境保護與管理和環保政策擬訂之參採。

酸雨可對農作物、土壤、森林、湖泊水域、及物質等造成嚴重的危害。從文獻報告(蘇及楊，1995)發現，包括農藝作物(如玉米、大豆、苜蓿等)、園藝作物(如蔬菜類之豌豆、菠菜、洋蔥、白蘿蔔等，果樹類之蘋果、柑橘等，花卉類之康乃馨、菊花等)、或許多森林樹種，都有受到酸雨影響而改變其生長、產量、及品質的紀錄，顯見解決酸雨問題之迫切性與必要性。酸雨對農作物之危害，包含外觀上的傷害、植體組成分的變化、生理反應的異常及生長的阻滯與產量減少等。然而，作物的反應程度則依作物種類、品種、及生育期而不同(Musselman and Sterrett, 1988)，亦因酸雨組成分與強度、雨期長短、及雨量多寡有別(Irving, 1983; McCool et al.，1990)，尤以SO_4^{-2}與NO_3^{-1}之比例更是重要關鍵(Irving and Miller，1981; Olson et al.，1987)。陳(1993)之報告指出，臺灣地區SO_4^{-2}與NO_3^{-1}之比例在北部約爲3:1，南部約爲4:1，東部約爲2:1，且pH 值低於5.0之酸雨發生頻率70%左右。因此，欲篩選出適當的作物作爲酸雨指標作物，必需尋找可靠而明確的判斷指標(徵狀)，建立具有上述敏感特徵(性)之作物與品種及其生育期之關係，並確立合適指標性(徵)狀的定性與定量表現。

本文係綜合作者從事人工(爲)模擬酸雨(simulated acid rain)試驗之部份結果，陳述部份農藝作物經人工模擬酸雨處理後之徵狀反應，期以作爲未來篩檢酸雨敏感指標作物之參考，並以作爲評估酸雨程度、劣變趨勢和對作物可能的影響的基礎。

篩選酸雨敏感指標作物之重要性

爲瞭解某地區的酸雨狀況，最直接的方法就是在該地區普設酸雨監測站，成立密集的監測網，長期而有計畫的追蹤及分析酸雨的組成分與分布。但是此一方法所獲得的資料並不能解釋、評估或預測酸雨對農作物生產的影響，提供預警酸雨危害作物的必要資訊。欲瞭解酸雨對農作物的效應，除了必須長期的追蹤酸雨濃度、組

成分與分布，也需要深入探討作物在形態、生理生化、及產量上的變化，同時調查土壤物理化學性質的改變，才能推斷造成酸雨影響的機制，釐清酸雨—作物—土壤間的關係及交感作用，實際估算酸雨的危害程度，達到定性與定量的評估。

然而這種複雜而繁覆的程序只有針對高經濟價值及重要農作物產業方符合實施效益，不適用於一般作物。因此，如何評估酸雨對某一特定作物生產的影響，在執行上有其先天的困難度。目前臺灣地區並無酸雨危害作物的實例，原因可能是(1)難以確認酸雨危害的徵狀，(2)酸雨的危害機制與其他天然或人為災害混雜，(3)酸雨目前的濃度尚未達到明顯危害的程度，即作物具有相當忍受酸雨作用的能力，或(4)缺乏有心與有系統的辨識、研究。由於在可預見的未來全球酸雨問題將持續的惡化，臺灣地區的酸雨形成仍受到其他國家及地區長程傳送的影響。因此確有必要儘速進行酸雨有關的研究，究明農作物受到酸雨淋洗的反應徵狀及影響機制，並廣設酸雨監測系統，在尚未全面爆發「農業的酸雨災難」之前，研發出減少或避免酸雨危害的策略及措施，使臺灣地區的農業得以永續發展，更使民生需要的糧食供應不虞匱乏。

酸雨敏感作物具有多方面的應用價值，首先它可以當作指標作物(姚及蔡，1995)，配合現有的酸雨監測網，整合而建立完整的農業監測與預警系統，互補於判斷與評估酸雨潛在影響，得以及時採行適當的措施減少或避免酸雨對農作物的嚴重危害，造成無可彌補的損失。尤其相對於酸雨測定儀器設備的昂貴，及籌設上的費力耗時，酸雨敏感作物擁有"物美價廉"的優點。其次，酸雨敏感作物是最佳的研究材料，可以協助吾人瞭解農作物對酸雨的徵狀反應及酸雨的危害機制，據以研擬適當因應措施與策略。所建立之關係曲線可製成定量模式，用以區分酸雨危害等級。

但是，酸雨敏感作物的篩檢過程卻相當的費事。首要工作是確立合適的人工(為)酸雨組成分與濃度，由於天然的酸雨隨著大氣中的化學物質種類及自然引發的物理化學作用而異，因此唯有從收集與分析某特定地區的酸雨結果來模擬，配製適用於當地的人工模擬酸雨。接著是選擇合適的徵(性)狀指標，作為區分作物的反應標準與依據，此一工作端賴長期試驗方能獲致成果。再者是人工雨水淋洗設施的製作，考量降水的速率與強度、淋洗量、淋洗時間及淋洗次數。當見仁見智的處理系統設立後，再以此篩檢農作物，尋找反應最敏感最可靠的徵(性)狀與作物。

本文研究乃在於探討部份農藝作物對人工模擬酸雨的反應徵狀，瞭解所選用作物的徵狀表現及差異，以應用於未來篩檢酸雨敏感指標作物。

人工模擬酸雨之處理方法與調查項目

本文研究所採用之試驗材料分別為水稻、菜豆、大豆、落花生、甘藷、及玉米等六種農藝作物，其中水稻臺農67號先行育苗二週後，移植於1/2000 acre之Wagner's pots中；甘藷甕菜種係以具7～8葉之枝條插植於8.5吋盆缽內；玉米Honey 236、大豆高雄3號、落花生臺南11號、及菜豆矮種籽仁等均以種子直播於8.5吋盆缽。每盆一株，栽培介質為土壤。

人工模擬酸雨係以硫酸及硝酸(SO_4^{-2}：NO_3^{-1}= 4:1，w/w)配成之酸液(選擇表一中pH= 2.5者)混以自來水，混合後模擬酸雨酸鹼值(pH)範圍介於為2.6 ～2.8，電導度值(electrical conductivity，EC)範圍為12.0 ～24.5 S m^{-1}。對照溶液為自來水，pH值介於6.9～7.3，EC值介於 2.7～3.2 S m^{-1}。另以不處理為第二對照組。

人工模擬酸雨處理時期於作物之營養生長期間，酸雨淋洗流速為7.13 L/m²/min，每天每次淋洗時間40 min，淋洗量約600 L。淋洗處理於當地時間10: 00-13: 00之間實施，每一處理連續淋洗四天，於第五天取樣測定葉片均質液(foliage homogeneous solution)pH 值與EC 值、酸緩衝量(acid buffering capacity，ABC)、及葉片電解質滲漏量。取作物植株鮮葉1 g 經添加液態氮磨碎後加純水(≧18 MΩ)80 ml，均勻混合後得葉片均質液。均質液酸緩衝量(ml/g)係定義為以0.02 N HCl溶液滴定造成均質液pH值下降一數值之HCl溶液容量(ml)。葉片電解質滲漏量是稱取2 g 鮮葉加水80 ml純水後，於第5，10，30，60，90，及120min 測定之EC值(換算為單位鮮重)。為瞭解人工模擬酸雨是否滲入葉片內或改變葉體硫氮比例，另測定葉片乾物質全硫及全氮含量，比較作物間之差異(本文未列出)。

Table 1. The relationships between the composition and pH value of simulated acid rain.

pH	H_2SO_4	HNO_3	比例
	mg L	mg L	
2.5	340.0	85.0	4:1
3.0	112.0	28.0	4:1
3.5	36.8	9.20	4:1
4.0	11.84	2.96	4:1
4.5	3.872	0.968	4:1
5.0	1.262	0.316	4:1

除了以上四項性狀，處理前、後亦調查人工模擬酸雨處理植株及對照植株之農藝性狀(如株高、莖高或莖長，葉片數)改變，並目視估算葉斑比率。其中水稻及玉米量測植株高度，菜豆、大豆及落花生量測莖高，甘藷則為莖長。葉斑依斑點所佔面積比率區分為六等級，A級: 0%，B級：1-20%，C級: 21-40%，D級: 41-60%，E級: 61-80%，F級: 81--100%。

植株各部位(根、莖及葉)鮮重則於取樣時稱量，並於80℃烘乾72 h 後稱取乾重，以計算各部位之重量比(weight ratio)。另以植株乾重與植株鮮重比值估算作物之生質量比(biomass ratio)，以根乾重與(莖加葉)乾重和之比值估算根稈比(root/shoot ratio)，以葉面積與葉乾重比值代表葉面積比(leaf area ratio)。各試驗重覆3-5次，每一次試驗具有5-6重覆。各調查性(徵)狀以每次試驗平均值為其代表值，再取各次試驗平均值之平均為試驗代表值，並計算標準差(standard error，SE)。

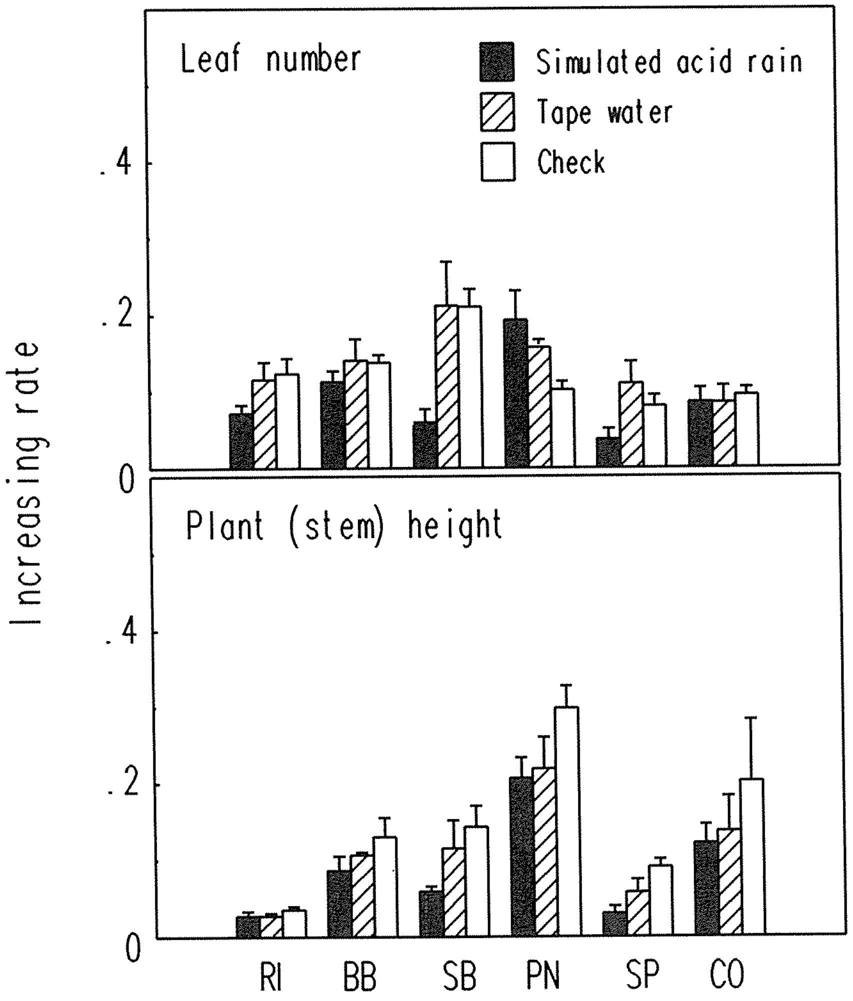
部份農藝作物對人工模擬酸雨之徵狀反應

(一)株(莖)高及葉片數之改變

根據試驗結果，發現經過人工模擬酸雨處理之作物植株伸長比率有小於未處理對照植株之趨勢(圖一)，除了水稻之外其餘五種作物均達顯著水準。而且除了水稻、玉米、及落花生之外，處理植株葉片增加率亦低於對照植株。以自來水淋洗之大豆及甘藷植株，其莖高(或莖長)與葉片數增加率仍高於酸雨處理株，但是與未處理植株之間無極顯著差異。顯然的，造成大豆與甘藷莖高(長)及葉片數增加率減緩的原因在於人工模擬酸雨而非雨水處理，即伸長的減緩係由酸雨組成分與酸鹼度造成；菜豆、落花生及玉米株(莖)高和菜豆葉片數之增加率的減緩，則受到酸雨與自來水處理交感的影響，無法以單一因子圓滿解釋。因此，由於如株(莖)高及葉片數等農藝性狀對酸雨淋洗產生徵狀差異，將可利用於比較酸雨對作物的淋洗效應及篩檢酸雨敏感作物。

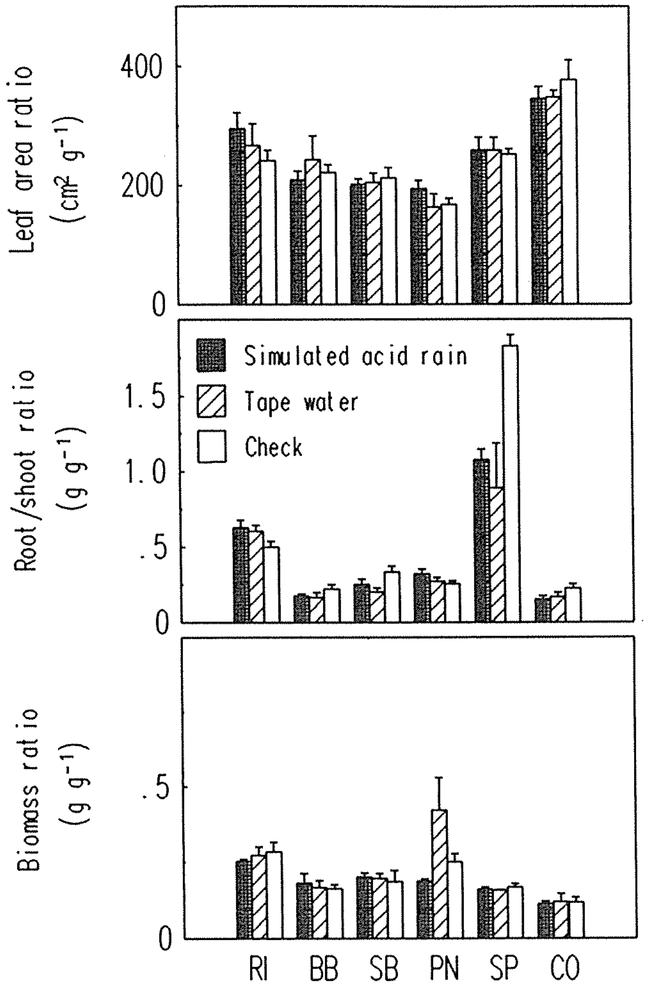
(二)植株各部位重量比及根稈比之改變

作物植株各部位之重量比繪示於圖二，菜豆、大豆、甘藷、及玉米之根重比均因人工模擬酸雨處理明顯下降，而自來水處理株與酸雨處理株之間無差異，顯示這四種作物可因酸雨或自來水之淋洗處理促進根部乾重快速增加。相對於此一現象，甘藷莖部重量卻因酸雨或自來水處理而增加；落花生葉部重量比以酸雨處理株最小，即酸雨顯著減少葉片重量的增加，而水稻葉



RI: rice BB: bush bean SB: soybean
PN: peanut SP: sweet potato CO: corn

Fig. 1. The increasing rates of plant (or stem) height and leaf number in some agronomic crops treated with simulated acid rain and tape water. Standard error is included.



RI: rice BB: bush bean SB: soybean
PN: peanut SP: sweet potato CO: corn

Fig. 2. Changes of weight ratios of root, stem, and leaf in some agronomic crops treated with simulated acid rain and tape water.

部重量比的減少則爲酸雨雨自來水處理交感所造成。另一方面，酸雨與自來水處理降低了大豆、甘藷、及玉米的根稈比，卻提高了水稻的根稈比(圖三)。由此可知，酸雨可能改變作物的乾物質蓄積與分布，作物之間反應不一，端視作物種類而異。

(三)生質量比及葉面積比之改變

除了落花生，參試作物的生質量比值並不因酸雨淋洗改變(圖三)。換言之，水稻、菜豆、大豆、甘藷、及玉米植株的水分含量不受酸雨處理的影響，但是落花生的酸雨處理株則增加了水分含量。所計算的葉

面積比僅水稻的酸雨處理株顯著升高(圖三)，顯示酸雨淋洗處理將減少水稻葉片單位面積的重量。此結果配合前述葉重比的減少，可知酸雨不利於稻株葉部的生長，長期而言將對水稻植株的生長造成負面作用，妨礙乾物質的生成。

(四)葉片斑點之出現

經過四天(每天 40 min)人工模擬酸雨淋洗處理後，第五天所調查之作物葉片斑點面積分級如表二所示。其中，菜豆人工模擬酸雨處理植株葉片斑點達 C 級最嚴重，即斑點出現所佔面積介於葉面積21-40%之間。大豆及甘藷酸雨處理株葉片斑點達 B 級，即斑點出現所佔面積介於葉面積1-20%之間，但是大豆斑點面積百分比遠較甘藷者高(資料未列出)。水稻、落花生及玉米酸雨處理植株葉片並未出現斑點，屬於 A 級內。以上結果顯示，酸雨淋洗可能使作物葉片產生斑點(褐色或白色)，惟斑點出現及所佔有的面積比例隨作物種類及酸雨組成分與濃度而異。

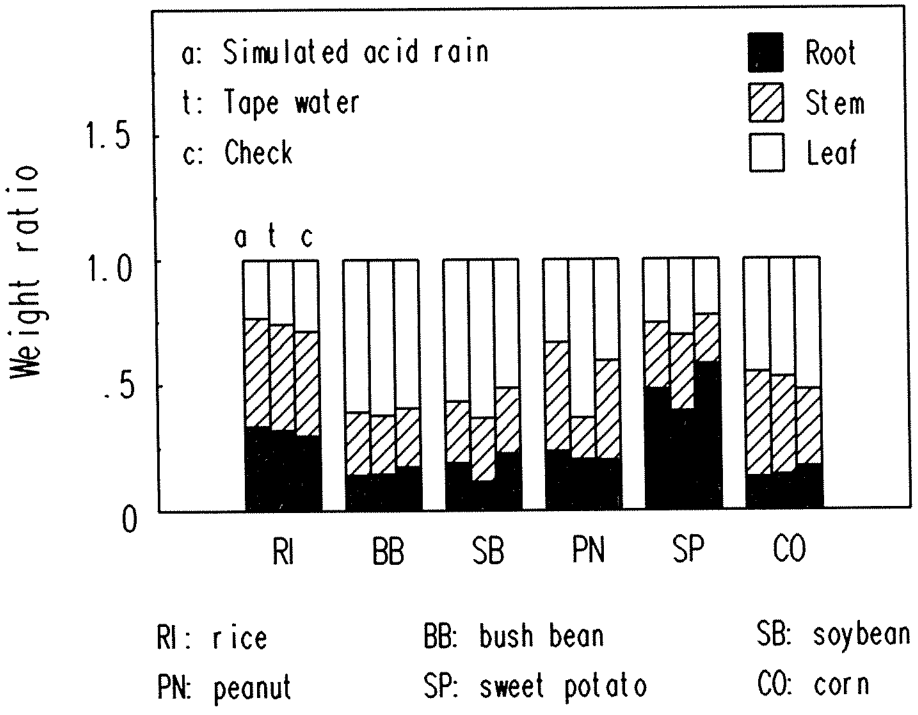


Fig. 3. Changes of ratios of biomass, root/shoot, and leaf area in some agronomic crops treated with simulated acid rain and tape water. Standard error is included.

Table 2. Classification of leaf spots for some agronomic crops treated with simulated acid rain and tape water during the vegetative stage.

Crop	Treatment	Classification@ A	B	C	D	E	F
Rice	Simulated acid rain	v					
	Tape water	v					
	Check	v					
Bush bean	Simulated acid rain			v			
	Tape water	v					
	Check	v					
Soybean	Simulated acid rain		v				
	Tape water	v					
	Check	v					
Peanut	Simulated acid rain	v					
	Tape water	v					
	Check	v					
Sweet potato	Simulated acid rain		v				
	Tape water	v					
	Check	v					
Corn	Simulated acid rain	v					
	Tape water	v					
	Check	v					

@ Percentage of spots area: A: 0%，B: 1-20%，C: 21-40%，D: 41-60%，E: 61-80%，F: 81-100%。

(五)葉片均質液電導度、酸緩衝量及酸鹼值

作物葉片均質液之電導度值以大豆最高(3.762 S/m)，甘藷最低(2.057 S/m); 酸緩衝量以菜豆最高(1.624 ml/g)，甘藷最低(1.042 ml/g); 酸鹼值以水稻最高(6.56)，菜豆最低(5.95)(表三)，顯見作物間呈現相當的變異。基本上經人工模擬酸雨淋洗後葉片均質液之電導度、酸緩衝量及酸鹼值並無顯著改變，惟作物間仍存在差異。對這些參試作物而言，葉片均質液之電導度、酸緩衝量及酸鹼值爲較穩定的性狀，短期酸雨淋洗將不能造成改變。

(六)葉片電解質滲漏液電導度及酸鹼值

將作物葉片完全浸潤於純水(≧18 MΩ)中，可通透細胞膜的電解物質於是不斷的滲漏出葉片至純水，致使純水的電導度及酸鹼值改變。隨著電解質持續的釋出及細胞膜結構的鬆散，更多的電解物質混溶於水中，提升了滲漏液的電導度，視電解離子的陰陽電荷比例也升高或降低了滲漏液

Table 3. Electrical conductivity, acid buffering capacity, and pH value of homogeneous solutions of crops foliage response to simulated acid rain and tape water treatments. Standard error is included.

Crop	Treatment	Electrical conductivity	Acid buffering capacity	pH
		S m^{-1}	ml g^{-1}	
Rice	Simulated acid rain	2.802±0.114	1.318±0.260	6.22±0.72
	Tape water	2.774±0.351	1.410±0.269	6.35±0.58
	Check	2.398±0.251	1.301±0.117	6.56±0.50
Bush bean	Simulated acid rain	2.387±0.176	1.650±0.164	5.85±0.43
	Tape water	2.208±0.232	1.548±0.223	5.97±0.25
	Check	2.271±0.111	1.624±0.352	5.95±0.26
Soybean	Simulated acid rain	3.765±0.155	1.286±0.166	6.24±0.23
	Tape water	3.590±0.312	1.346±0.188	6.36±0.17
	Check	3.762±0.033	1.470±0.204	6.25±0.20
Peanut	Simulated acid rain	2.496±0.177	1.396±0.148	6.31±0.30
	Tape water	2.239±0.134	1.295±0.141	6.32±0.36
	Check	2.455±0.210	1.350±0.055	6.28±0.39
Sweet potato	Simulated acid rain	1.955±0.151	1.360±0.210	6.03±0.40
	Tape water	2.023±0.185	1.123±0.093	6.11±0.40
	Check	2.057±0.167	1.042±0.114	6.26±0.37
Corn	Simulated acid rain	1.762±0.251	1.446±0.246	6.13±0.24
	Tape water	1.975±0.171	1.637±0.310	6.11±0.33
	Check	2.083±0.161	1.481±0.301	6.05±0.25

的酸鹼值。由圖四曲線趨勢，大致上各作物葉片滲漏液之電導度隨著浸潤時間增加而升高，顯示電解物質自葉片持續釋出，經人工模擬酸雨或自來水淋洗過之葉片亦呈現類似曲線。對水稻及玉米而言，酸雨處理將降低葉片滲漏量，大豆則係促進作用，菜豆、落花生及甘藷無顯著效應。水稻之反應曲線顯示其為酸雨所造成，玉米及大豆的試驗結果則無法區分酸雨與自來水的各別作用(圖四)。圖五顯示，人工模擬酸雨及自來水淋洗將不能明顯改變葉片滲漏液之酸鹼值，表示葉片釋出之電解質電荷似維持一定的比例。由此可知，葉片滲漏量在作物間存有差異，不同作物之滲漏趨勢及滲漏量需經試驗獲得。

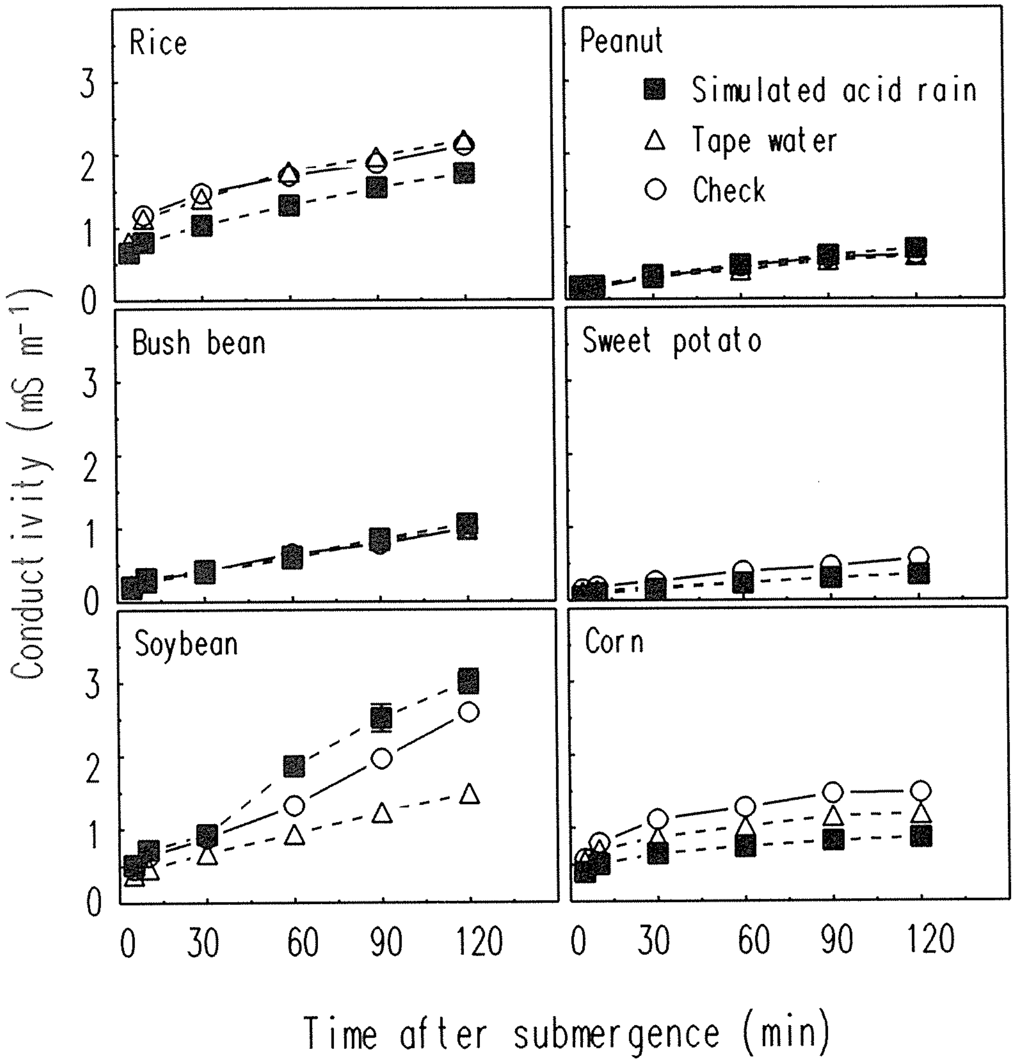


Fig. 4. Changes of electrical conductivity of folial leakage solutions in some agronomic crops treated with simulated acid rain rain and tape water. Standard error is included.

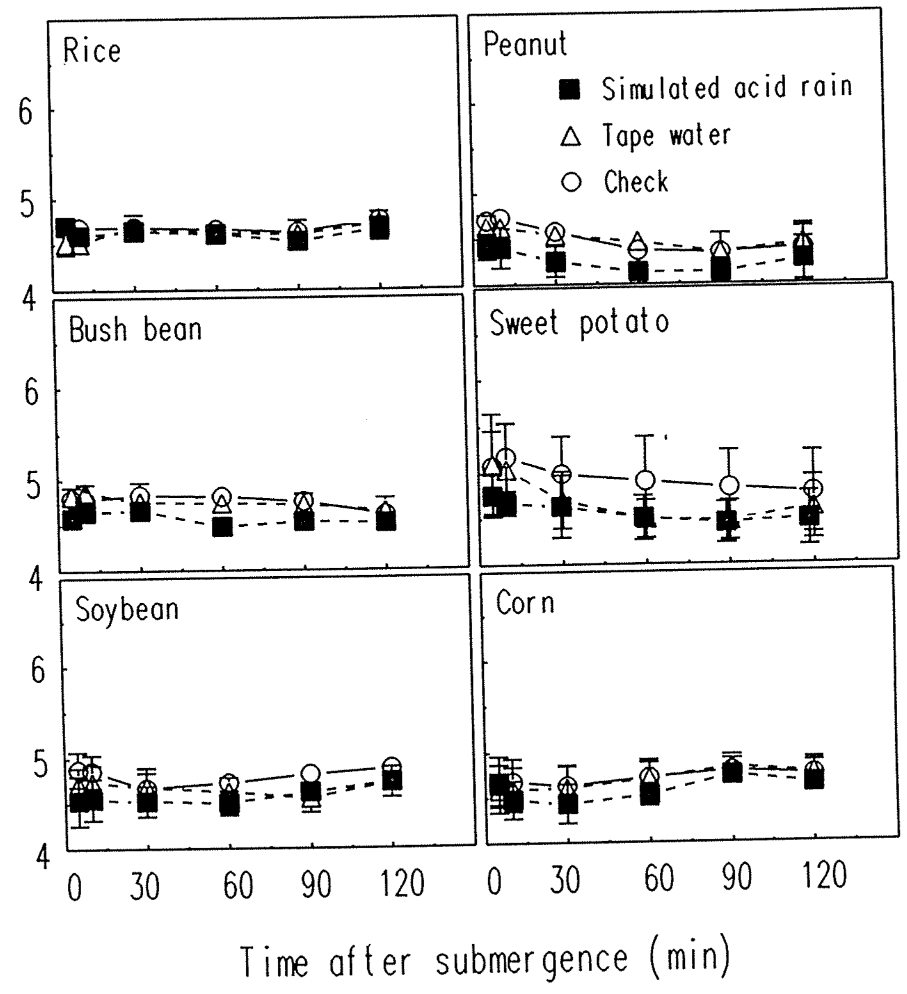


Fig. 5. Changes of pH value of folial leakage solutions in some agronomic crops treated with simulated acid rain and tape water. Standard error is included.

結　語

酸雨對作物的效應，可能是直接自植體孔隙(如氣孔、皮孔)進入植株地上部、落在地面上再滲入土中由根系吸收、或與土壤粒子進行離子交換而釋出毒害陽離子(如鋁離子、銅離子)被根部過多吸收所引起。惟個別農作物對酸雨的吸收程度與因此引起的作用並不一致，尚有許多疑點需予以澄清、瞭解。爲充分瞭解對農作物對酸雨淋洗的反應，須分從形態、生理生化及植體組成分等方向探討、分析，再予綜合評估。本文乃由外觀形態及若干生理現象探究部分農藝作物對短期人工模擬酸雨淋洗的徵(性)狀差異，期以找出可供篩檢酸雨敏感作物的指標徵(性)狀，據以進行篩檢工作。

由試驗的結果，具有作爲酸雨淋洗反應徵(性)狀潛力者如次: (1)農藝性狀(如株高、莖高及葉片數等)，(2)乾物質的蓄積與分布，(3)葉片斑點面積比例，及(4)葉片電解質滲

漏量。惟以上各項均因作物種類而異，出現的效應可能係正面的或負面的，而且程度有別應注意釐清。其中農藝性狀調查及葉片斑點面積比例估計有非破壞檢測特性，不改變作物生育狀態。另兩項性狀則需要取樣攜回實驗室處理與分析，非一般人所能辦理。其它項目如植體成分分析、葉片氣孔導度、葉片水分潛勢、植體溫度、及植體輻射光譜等，亦可參予徵狀篩選試驗。

誌　謝

臺灣省農業試驗所研究報告第1838號。本文研究承行政院環境保護署經費補助(計畫編號EPA-85-1404-09-19)，特此致謝。

引用文獻

姚銘輝 蔡金川. 1995. 酸雨指標作物之研究－利用模擬方式評估兩種篩選方法. 中華農業氣象 2: 157-162.

陳淨修. 1993. 臺灣地區酸雨防制策略. pp. 70-79. 臺灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會專輯. 中華農業氣象學會出版，臺中市.

蘇慕容 楊純明. 1995. 酸性濕沉降對農作物影響探討. 中華農業氣象 2: 47-52.

Irving, P. M. and J. E. Miller. 1981. Productivity of field- grown soybeans exposed to acid rain and sulfur dioxide alone and in combination. J. Environ. Qual. 10: 473-478.

Irving, P. M. 1983. Acidic precitation effects on crops: a review and analysis of research. J. Environ. Qual. 12: 442-453.

McCool, P. M., R. C. Musselman and J. L. Sterrett. 1990. Injury of three ornamental flower crops from simulated acidic fog. Plant Dis. 74: 310-312.

Musselman, R. C. and J. L. Sterrett. 1988. Sensitivity of plants to acidic fog. J. Environ. Qual. 17: 329-333.

Olson, R. L. Jr., W. E. Winner and L. D. Moore. 1987. Effects of 'pristine' and 'industrial' simulated acidic precipitation on greenhouse-grown radishes. Environ. Exp. Bot. 27: 239-244.

Soares, A., J. Y. Ming and J. Pearson. 1995. Physiological indicators and susceptibility of plants to acidifying atomospheric pollution: a multivariate approach. Environ. Pollut. 87:159-166.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 135-142, 1996

酸雨對農耕土壤的影響

王銀波 劉黔蘭 宋昌勳
國立中興大學土壤環境科學系

內 容

摘要……136
英文摘要……136
酸雨的來源及定義……137
酸雨的概況……137
土壤緩衝酸雨的機制……138
酸雨對土壤的影響……139
引用文獻……140

酸雨對農耕土壤的影響

王銀波　劉黔蘭　宋昌勳

國立中興大學土壤環境科學系

摘　要

酸雨影響土壤系統的化學組成，其反應各案變異甚大，視酸雨的強度持續性及土壤性質而定。土壤因有機與無機膠體而具緩衝作用，其緩衝機制包含鋁緩衝、矽酸鹽礦物緩衝、陽離子交換、有機緩衝及如硝酸鹽吸收，硫酸鹽吸附等陰離子固定作用的效應。酸雨帶入酸的容量效應有交換酸度，交換性鹽基含量及吸附硫酸鹽容量等。其強度效應則如增加土壤溶液中化學組成與強酸結合陰離子濃度，包括pH、鋁的移動及土壤溶液中鹼的流失，可能轉致排水的酸化。

關鍵字：酸雨、酸中和容量。

Effects of Acidic Deposition on Agricultural Soil

Yin-Po Wang, Chyan-Lan Liu and Chan-Uxin Song, (National Chung- Hsing University)

Abstract: Acidic deposition affects the chemical composition of the soil system. Responses of individual systems will be highly variable, depending on the intensity and duration of deposition and the properties of the soil. Buffering mechanisms considered include aluminum buffering, silicate mineral buffering, cation exchange, organic buffering and the effect of anion immobilization processes such as nitrate uptake and sulfate adsorption. The effect of acidic input on capacity factor such as exchange acidity, exchangeable base content, and sulfate adsorption capacity are considered. Particular attention is paid to intensity effects, such as effect of increased concentration of anion associated with strong acids on the chemical composition of soil solution. These include pH、aluminum mobilization, and loss of alkalinity in soil solution, which in turn may result in acidification of drainage waters.

Key words: Acidic deposition, Acid-neutralizing capacity (ANC),

酸雨的來源及定義

酸雨的來源是大氣中有酸性物質的存在，這些酸性物質中主要有硫酸、硝酸、鹽酸、有機酸等。在不同的地區、氣候條件之下各種酸性物質之間的比例不同，降水酸化形成酸雨是很複雜的物理化學過程。其反應最終的主要結果是將二氧化硫和氮氧化物形成硫酸和硝酸，使雨水酸化成爲酸雨。這些酸性物質主要來自石化燃料的燃燒過程和汽車、煤及油燃燒所排放出的。降水中酸性的大小，稱爲酸度，一般用水溶液中氫離子濃度的對數負值來表示，即所謂pH值，即$pH=-log[H^+]$。潔淨之雨水中溶入二氧化碳，達飽和時其pH值爲5.65(25℃)，這時CO_2在空氣中的濃度約爲316ppm。它的解離方程式如下：

$CO_2+H_2O \rightarrow H2CO_3$ 　　$K=10^{-1.46}$

$H_2CO_3 \rightarrow HCO_3^-+H^+$ 　　$K1=10^{-6.35}$

$[H+][HCO_3^-] = 10^{-7.81} \times 3.16 \times 10^{-4}$

$= 10^{-11.31}$

假設水分解的$[H^+]$忽略不計，則可得

$[H+]=[HCO3^-]$，

即$[H^+]=(10^{-11.31})^{1/2}=10-5.65$

$pH=-log[10^{-5.65}]=5.65$

也就是說降水中溶入了二氧化碳其pH值會下降至5.65，因此早先把pH 值在5.65以下的雨水稱爲酸雨，然而還需考慮地理環境及季節變化造成降水中的一些鹼性離子(如K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、NH^{4+}、H^+)和酸性離子(如SO_4^{2-}、NO_3^-、Cl^-、$R\text{-}COO^-$、SO_3^-、PO_43^-、CO_3^{2-})的濃度發生變化，使雨水的自然背景值介於4.9～6.5之間，故取pH 5.0爲受人爲污染的臨界值(孫岩章, 1980; U.S. National Research Council, 1983)。

酸雨的形成，是因爲空氣中的污染物質，如氮、硫氧化物，經複雜的光學反應後，與水凝結成酸性的雨滴，再降到地面上來，這些污染物質的來源，包括人爲因素（如石化燃料的燃燒、汽車排放廢氣等）和自然環境的產生（如植物之新陳代謝），因此在工業發達、人口密集的工業區或都市，均可能因污染嚴重而導致雨水pH值的偏低。因此，林口火力發電廠遂成爲桃園降酸雨，損害農作物的主因之一。當大氣中的SO_2、NO_2、HCl、HF等酸性物質與雨水、霧、露等沈降到地面時容易對動物、植物造成傷害並酸化土壤。酸降的作用經由生態系的運轉過程對生態系中的森林、湖泊、土壤、水質都會造成影響。直接或間接的影響農林漁牧之生產力,對永續農業造成傷害。酸雨的形成常常是空氣中存在有許多的污染物如NOx 、PAN 、O_3 、SO_4^{2-}、F^- 等等，故考慮酸雨對動物及植物的影響的同時也須考慮空氣污染物對動物及植物的影響。酸雨會造成水質及湖泊酸化，使水中的重金屬如鉛、鋅、鋁等濃度上升造成浮游性微生物的死亡，藻類、小動物及大型生物相繼死亡，最後形成死湖。酸雨對土壤的主要影響是酸雨落入土壤中會發生物理及化學變化而酸化土壤，置換出養份離子如鈣、鎂、鉀等，使土壤液中的重金屬如鎘、汞、鉛、鎳及有毒物質如鋁、錳等在土壤液中濃度上升，進而毒害植物及菌根菌，影響土壤之生態環境，降低土壤生產力。酸雨直接落在植物上會破壞葉片組織，使葉片呈褐色斑點，黃白化，影響植物的生長，造成植物枯死。

酸雨的概況

世界各國對酸雨及其影響研究頗多(Alan, 1988)，在歐洲，美國等地已造成農業、森林、湖泊等受影響。

台灣地區的報告(陳淨修,1993)台灣酸雨發生的頻率約爲70%，雨水致酸之主要爲硫酸，次爲硝酸。

臺灣省林業試驗所對臺北市植物園定點收集每場降雨資料並加以化驗。在過去十年(1981～1990)701 場降雨，雨水pH值的範圍介於3.15至7.66，平均值爲4.47，其中有522 場雨水的pH值小於5.65，也就是植物園附近的雨水75% 有酸化的現象。總沉降量方面，硝酸根有逐年增加之趨勢，在最近

幾年才偵測到氟離子，且濃度增加的速度也相當快。由離子比率分析得知鈉離子及鈣離子對陽離子的貢獻最大，陰離子則爲硫酸根(55.5%)。鈣離子、鎂離子、鈉離子、鉀離子、氯離子及pH值之月平均值呈季節性之變化，連日豪雨pH有愈降愈酸之趨勢。至於pH值則是所有離子的綜合效應，不會特別受到某一離子之影響，而與鹼度以某一關係存在。

土壤緩衝酸雨的機制

土壤爲地球表面的疏鬆物質，包括固、液、氣三相，支持植物生長，供應生物生長所需養份，其固相部分由無機及有機的膠體所組成，使土壤在自然界具緩衝作用。Ulrich(1980)指出土壤對H^+之緩衝能力可依pH值劃分成五種範圍：(1) pH 6.2～8.6 碳酸鈣緩衝範圍。(2) pH 5.0～6.2 矽酸礦物緩衝範圍。(3) pH 4.2～5.0 陽離子交換緩衝範圍。(4) pH 3.0～4.2 鋁之緩衝範圍。(5) pH 3.0～3.5 鐵之緩衝範圍。此乃一般的劃分，其中重疊部分係因土壤而異。茲將土壤之緩衝機制說明如下：

A.鋁緩衝

最常見者爲氫氧化鋁，其反應可以下式描述：

$$3H^+ + Al(OH)_3 \rightarrow Al^{3+} + 3H_2O$$

當平衡時，$K^0=(Al^{3+})/(H^+)^3$，平衡常數Log K^0，就水鋁氧(gibbsite)言爲 8.04，無定形氫氧化鋁爲 9.66，此二型式鋁化物之鋁活度對pH作圖可知水鋁氧系統之緩衝pH值約爲4.0 而無定形氫氧化鋁則爲4.5。

鋁矽酸鹽類亦能產生Al^{3+}，如伊來石造成pH緩衝與氫氧化鋁相似，而高嶺石可能造成更低的pH。鋁矽酸鹽類礦物含鹽基陽離子，這些礦物風化可緩衝pH。例如含鈣的鋁矽酸鹽礦物 $CaAl_2SiO_8 + 8H^+ = Ca^{2+} + 2Al^{3+} + 2H_2SO_4$ 風化時,每二摩爾的Al^{3+}釋出一摩爾Ca^{2+}，鈣可因酸雨淋洗而移去。

B.陽離子交換緩衝

Ulrich建議pH 4.2-5.0 爲離子交換緩衝區，當一土壤以非緩衝溶液測該土壤pH值時之陽離子交換容量(CEC)可計算鈣鎂飽和度，若用pH 7.0標準法測CEC則包含可變電荷。陽離子A^{a+}及B^{b+}與交換者X之離子交換式如下(括號表活度)：

$$bA^{a+} + BX = aB^{b+} + AX,$$

$$K_s\frac{(A^{a+})^b}{(B^{b+})^a} = \frac{(AX)^b}{(BX)^a}$$

簡例如鈣(Ca^{2+})與氫(H^+)交換

$$Ks\frac{(Ca^{2+})}{(H^+)^2} = \frac{(CaX)}{(HX)^2}$$

另例如鈣(Ca^{2+})與鋁(Al^{3+})交換

$$K_p\frac{(Al^{3+})^2}{(Ca^{2+})^3} = \frac{(AlX)^2}{(CaX)^3}$$

C.陰離子固定的緩衝

酸雨常含NO_3^-、SO_4^-、Cl^-等強酸及Ca^{2+}、Mg^{2+}、Na^+、K^+等陽離子，陰離子可與陽離子形成中性鹽類。植物或土壤因陰離子吸附之化學過程造成固定作用，例如雨水中的NO_3^-進入土壤，可能被植物吸收，但若其吸收的NO_3^-使陽離子電荷不平衡時，將釋出OH^-或(HCO_3^-)而保持電荷平衡，中和土壤溶液。SO_4^{2-}有類似情形，但因植物需硫量少於氮故較不重要，微生物之作用較顯著，在還原狀態下，硫酸根會被微生物還原成H_2S或硫化物。

D.有機的緩衝

有機膠體具有高電荷密度有大CEC，係因羧基或酚基解離而產生，有機酸之溶解在森林土壤尤爲重要，森林土有機層下之土壤pH 值常低於3.5，即H^+超過300 μ mol/L，需要大量的陰離子來中和。

十二種台灣土壤吸附酸雨的H^+能力佔

總加入酸量的46～100%(劉等, 1992a)，這些土壤對酸雨酸化的緩衝容量範圍自1.88到82.92 cmol H^+(kg soil,pH)$^{-1}$ (洪等, 1992)與土壤的pH值、陽離子交換容量(CEC)、鹽基飽和度(BS%)、有機質(OM%)、碳酸鈣($CaCO_3$)，母質及質地有關。其中鹽基飽和度，土壤CEC，pH值，OM含量和非結晶性礦物是短期控制氫緩衝容量之重要因素，而礦物風化則是長期控制氫緩衝容量之重要因素。酸雨對礦物風化的影響可分成兩大因素:一是可風化礦物的含量及其組成份，二是滲漏水接觸礦物表面的機率。酸雨對土壤礦物風化程度受酸雨由上往下滲流的模式及酸雨停留於土壤間隙的時間等因素影響。

劉文徹等(1992a)指出台灣主要土壤對H^+的緩衝過程可分成四個範圍：(1)碳酸鈣的緩衝範圍，H^+的消耗是由於$CaCO_3$的溶解或碳酸緩衝系統，這些土壤包括了粘板岩石灰性沖積土，砂頁岩粘板岩混合石灰性沖積土，砂頁岩石灰性沖積土及片岩沖積土混合區。(2)矽酸礦物風化及碳酸鈣溶解之綜合緩衝範圍，H^+的消耗係由於矽酸礦物的風化或碳酸緩衝系統，這些土類包括有砂頁岩粘板岩混合非石灰性沖積土，砂頁岩黃壤，安山岩黑色土。(3)陽離子交換和矽酸鹽礦物風化的綜合緩衝範圍，H^+的消耗是因爲矽酸礦物中Al-hydroxyl polymers的溶解及polymeric Al-hydroxyl cations的形成，這些Al-hydroxyl polymers再取代土壤顆粒表面的鈣和鎂，這些土類包括了砂頁岩暗色崩積土、粘板岩非石灰性沖積土及砂頁岩非石灰性沖積土。(4)鋁的緩衝範圍，H^+的消耗是由於Al^{3+}自polymeric Al compounds中釋放。這段緩衝範圍的緩衝容量最高。土類包括有砂頁岩幼黃壤及洪積母質紅壤。

pH值小於5.0之酸性土壤對酸的敏感性低，係因大部分的陽離子可交換位置已被H所佔；具高pH的石灰性土壤對酸的抵抗力亦高，此乃這些土壤具高的H緩衝容量；pH值6.0左右的非石灰性土壤最容易受酸雨的酸化。

酸雨對土壤的影響

用容量及強度的觀念評估酸雨對土壤的影響是很有用的，茲說明如下：

一.酸雨的容量效應

考慮整個量的影響，如每年H進入土壤量或酸雨導致鹽基損失量，可由交換酸度、交換性鹽基、陽離子交換容量及鹽基飽和度、吸硫酸根容量四項說明。

交換性酸可由測定酸度來決定氫及鋁，如用$BaCl_2$-TEA(pH8.2) 或中性KCl 爲萃取劑，前項包括該緩衝pH的潛在交換酸度，後者僅爲該土壤pH可釋出的酸度。無或低pH依賴性電荷量的酸性土此二值可能很近似；pH依賴或可變電荷佔優勢的土壤則差異大。例如某土壤系深0.3公尺，陽離子交換容量(CEC)爲 15cmol (+)/kg，容積密度爲 1.11 g/cm^3，CEC由20%交換性鹽基及80%交換酸所組成，假設爲固定電荷，則緩衝或未緩衝測定得類似結果，此系統每平方公尺含約40mol(+) 交換酸度及10mol(+)交換性鹽基，若年降酸雨1公尺H濃度63 μ mol/L (pH4.2)，乾降與溼降等量，則年約降0.125 mol H^+/M^2。

交換性鹽基因酸雨而損失，以離子交換曲線及Ca^{2+}-Al^{3+} 等溫交換估計大多數土壤pH範圍內Al移動超過鹽基飽和度的15%，上例中交換性鹽基爲10 mol(+)/M^2，完全被酸雨取代需80年，把20%鹽基飽和度降爲15%需20年，降爲10%需40年。

CEC爲單位重量土壤中有效負電荷總量(cmol/kg)。傳統以緩衝系統如pH 7.0或8.2測定，包括pH依賴性(可變的)電荷及非pH依賴性(永久的)電荷。鹽基飽和度爲一比率即電荷中交換性鹽基(鉀、鈉、鈣、鎂)佔的百分率。CEC尙包括鋁及氫。高CEC並不表示具高酸容量。

吸硫酸根容量亦具緩衝效果，30 公分

B層土壤因吸硫帶入0.16至0.64 mol H_2SO_4/M^2(0.32至1.32 mol H^+ /M^2)，約為前例中2.5至10年帶入量。

二.酸雨的強度效應

考慮pH或土壤溶液中各組成之濃度，由鹽類濃度、鋁離子移動、pH效應三項說明。

土壤溶液組成隨外來強度變化甚速，如土壤SO_4^{2-}濃度即因施入量，土壤吸附特性而異，且因系統中硫循環及蒸散等因子而變。一般土壤因酸雨致土壤溶液SO_4^{2-}濃度在100至200 μ mol/L範圍，有些因雨中SO_4^{2-}高而有630 μ mol/L者，系統中有SO_4^{2-}負電荷將全被鹽基陽離子所平衡，主要為Ca^{2+}、Mg^{2+}，致使淋洗液中硫酸鹽類濃度增加，造成鹽基流失。

酸雨帶來的SO_4^{2-}、NO_3^-若無法與鹽基陽離子平衡，在排水良好的礦質土中，將與H^+或各種鋁Al^{3+}、$Al(OH)^{2+}$、$Al(OH)^{2+}$平衡，可能導致鋁毒害。在低交換性鹽基土壤中，顯著的鋁移動可能增加酸雨的強度。

pH是最常見的土壤測定參數，但因測法不同有不同的測值，使研判困難。一比二土水懸垂液之pH低於一比五者，田間土之pH較上述有差，降雨、蒸散、鹽類移去否均影響測值，常用0.01M $CaCl_2$即因應而生，其測值比以水測得者為低，較可反映交換體鈣、鎂飽和情形.因土壤具前述的緩衝作用，很難評估酸雨對土壤反應的效應，即因土壤具緩衝作用使酸雨造成土壤pH變化很小。

利用各種滲漏計收集淋洗液測其pH為另一有用的技術。淋洗液的pH與土壤pH不同。土壤中二氧化碳分壓較大氣為高，可形成鹽基性碳酸鹽類(HCO_3^-)而影響酸中和容量(acid-neutralizing capacity, ANC)。土壤中二氧化碳量隨時間變化量很大，淋洗液的ANC變化亦大，因酸雨導致各種鋁的移動及H增加將會降低ANC。ANC的變動在-25至+25 μ mol/L範圍可能因二氧化碳分壓的改變所造成，可由淋洗液pH改變看出來。若超出此範圍則對淋洗液pH影響相對地變小。因系統的複雜性很難以淋洗液pH估計酸雨的影響。

由以上說明可知土壤與酸雨的關係很複雜，觀察不同的系統有不同的效應，雖有一些試驗假說架構，但未來應有更精緻的研究以改善我們對酸雨效應的瞭解。

引用文獻

洪佳章等。1992。台灣農用土壤緩衝酸雨潛力之評估。台灣糖業研究所研究彙報 138:11-19。

孫岩章、吳瑞鈺。1980。台灣地區的酸雨。科學發展月刊第八卷第五期。

康敏捷等。1994。模擬酸雨對台灣中部極育土陽離子淋溶的影響。台灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研究會專輯。p217。

陳淨修。1993。台灣地區酸雨防治策略。台灣地區空氣污染與農業氣象對農業生產影響研討會專輯。中華農業氣象學會。

劉文徹。1989。酸雨對土壤之影響。第一屆土壤污染防治研討會論文輯集。p.56-72。國立中興大學土壤學系。

劉文徹等。1992a。台灣農用土壤緩衝酸雨之機制。台灣糖業研究所研究彙報 137: 23-31。

劉文徹、洪佳章。1992b。台灣土壤對酸雨之敏感性。第二屆土壤污染防治研討會論文輯集。p.29-44。

謝兆申、王明果。1988。台灣土壤。國立中興大學土壤調查中心。

Alan Wellburn. 1988. Air Pollution and Acid Rain:The Biological Impact. Longman Scientific * Technical , England.

Bartlett, R.I., D.S. Ross and F.R. Magdoff. 1987. Simple kinetic fractionation of

reactive aluminum in soil solution. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:1479-1482.

Bloom, P.R. and M.S. Erich. 1987. Effect of solution composition on the rate and mechanism of gibbsite dissolution in acid solutions. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 1131-1136.

Chen, C.T., B.J. Wang, H.C. Hsu and J.J. Hung. 1994. Rain and lake waters in Taiwan: composition and acidity. TAO 5(4):573-584.

Chen, J.S. and C.S. Chen. 1994. Acidic precipitation in Taiwan area. Proceedings of the 7th IUAPPA Regional Conference on Air Pollution and Wastes Issues. Vol. II. 203-209.

Craker, L.E. and P.F. Pratt. 1961. Methods of analysis for soils, plants, and waters. P. 35. Division of agri. Sci., Univ. of Cail.

Cronan, C.S. and C.L. Schofieid. 1979, Aluminum leaching response to acid precipitation: Effects on high-elevation watersheds in the Northeast. Science 204: 304-306.

Frenkel, H., C. Amrhein and J.J. Jurinak. 1983. The effect of exchangeable cations on soil mineral weathering. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:649-653.

Johnson, N.Y., C.T. Driscoll, J.S. Eaton, G.E. Likens and W.H. McDowell. 1981. "Acid rain" dissolved aluminum and chemical weathering at the Hubbark Brook experimental forest, New Hampshire. Geochim. Cosmochim. Acta. 45:1421-1437.

Kennedy, I.R. 1986. Acid Soil and Acid Rain. Research Studies Press Ltd.

King, H.B. and L.S. Huang. 1983. Effect of precipitation on forest ecosystems. Quar. J. Chi. For. 16(1):79-89.

King, H.B. and S.C. Chi. 1991. An preliminary investigation of acid precipitation in Taiwan No.2. The effects of acid precipitation on forests. EPA Executive Yuan.

Liu, W.C., J.J. Hung and C.H. Chang. 1993. Effects of acid rain on Cadmiumcontaminated soil from Ruchu,Taoyuan County, Taiwan. Rept. Taiwan Sugar Res. Inst. 141:1-14.

Malcolm Cresser, Ken Killham and Tony Edwards. 1993. Soil Chemistry and its applications. Cambridge University Press.

McBride, M.B. 1994. Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press.

Norton, S.S., S.E. Lindborg and A.L. Page. 1988. Acid Precipitation. Vol.4. Soil Aquatic Process and Lake Acidification. Springer-verlag.

Reuss, J.O. and D.W. Johnson. 1985. Effect of soil processes on the acidification of water by acid deposition. J. Environ. Qual. 14:26-31.

Reuss, J.O., and D.W. Johnson. 1986. Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters. Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg Tokyo.

Ugolini, F.C. and R.S. Sletten. 1991. The role of proton donors in pedogenesis as revealed by soil solution studies. Soil Sci. 151:59-75.

Ulrich, B. 1980. The production and consumption of hydrogen ions in the ecosphere. p. 225-282. In Hutchinson and Havas (eds.). Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystems. Plenum Press, New York.

U.S. National Research Council 1983 Acid

Deposition National Academy Press
Washington D.C. 719 pp.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 143-154, 1996

硫酸模擬之酸雨對水稻劍葉及穀粒之影響

周煒裕 宋濟民
國立中興大學農藝系

內 容

摘要……144
英文摘要……144
前言……145
材料與方法……146
結果與討論……147
引用文獻……153

硫酸模擬之酸雨對水稻劍葉及穀粒之影響

周煒裕　宋濟民

國立中興大學農藝系

摘　　要

以水稻良質米台梗九號為材料，在中興大學試驗田栽培八十四年第二期作，在開花盛期及/或穀粒充實期濆灑 pH2.4、pH 3.4 H_2SO_4 溶液及 3 mM Na_2SO_3 溶液(以濃硫酸滴定至pH 3.4)。每1.25 m^2 內種植20株(行株距各25cm)，五分鐘內共噴灑700ml，每隔一天全株噴灑，處理五至十次。開花盛期至穀粒充實期均處理之結果，劍葉水溶性蛋白、葉綠素含量、滲漏電導度、收穫後穀粒千粒重及產量均未與對照組有統計上之顯著差異。收穫後穀粒之氧化態穀胱甘太(oxidized glutathione, GSSG)含量則顯著的低於對照組。還原態穀胱甘太(reduced glutathione, GSH)含量及 GSH/GSSG 比例則分別低於及高於對照組，但均未達統計上顯著差異。收穫後穀粒經40℃，100％ 相對濕度老化處理0、5或10後，發芽試驗發現隨著老化時間增加，pH 2.4 硫酸液處理收穫的穀粒，其發芽速度(浸潤後三日內)及發芽率逐漸明顯低於未噴灑硫酸液之老化處理種子。整體而言，在本試驗條件下對台梗九號水稻開花盛期至穀粒充實期間之生育並無負面影響。但由穀粒內 GSH、GSSH 含量變化及種子老化處理結果顯示硫酸模擬之酸雨極可能會影響水稻收穫後種子儲藏品質及壽命。

關鍵字：硫酸模擬之酸雨、穀胱甘太、老化處理、發芽。

Effects of Simulated Sulfuric Acid Rain on Flag Leaf and Seeds of Rice.

Wei-Yu Chou and Jih-Min Sung (Department of Agronomy, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC)

Abstract: This experiment was conducted in the second crop season of 1995 in the experimental farm at the National Chung-Hsing Unicersity using rice variety TK9 as testing material. Simulated acid rain (pH 2.4, 3.4 H_2SO_4 and 3 mM Na_2SO_3, titrated to pH 3.4 with 95％ H_2SO_4) was applied to the rice plants at heading and /or grain filling stages. The treatment was conducted as the follows: 700ml acidic solution was sprayed to rice plants (20 plants/1.25m^2, spacing 25 × 25 cm) in five minutes every other days for five to ten times. The results indicated that the soluble protein contents, chlorophyll content, electro-conductivities, weight/1000 grain and

grain yield in plants subjected to simulated acid rains from heading to grain filling were not statistically different from control plants. Oxidized glutathione (GSSG) contents in grains of acid rain-treated plant were significantly lower than that of control. However, no statistical difference was observed on reduced glutathione (GSH) contents and GSH/GSSG ratios between the treated and control plants. The aging test was further conducted on the rice grains. The harvested grains were aged under 40℃ at 100％ RH for 5 or 10 days. The results indicated that the germination speed (imbibition three days) and germination percentage of grains treated with pH 2.4 H_2S0_4 were significantly lower than those of control, as the aging duration increased from 0 to 10 days. In this specific experimental condition, the simulated sulfuric acid rain treatment from heading to grain filling stages showed no significant effect on the agronomic characteristics in TK9 rice plant. But, the changing of GSH, and GSSG contents in grains and results of aging treatments of grains showed that the simulated sulfuric acid rain could reduce the quality and longevity of rice grains.

Key words: Simulated acid rain, Glutathione, Germination, Aging.

前　　言

在植物吸收的營養元素比例之中，硫的含量約佔第十五或第十六位。若以碳含量為100 ，則氮含量約為10，而硫約佔0.6，與磷、鉀、鈣相當(Pitman and Cram, 1977; Raven 1980)。S/N 比例約為1/20，植物對硫與氮之吸收大致需顧及此一比例之平衡，因此，當外界環境中硫含量有改變時，遲早將影響到植物對其他重要養分，例如氮素的吸收與利用。自然界的硫含量在海水中約為25mM，淡水中約0.1-1.0mM，一般可耕地則約 0.5mM(Evans, 1975; Raven 1980; Syers et al., 1987)。由於自然界硫含量尙稱充足，常被誤以為硫對植物並不重要；硫通常是以硫酸根形式被植物所吸收，空氣中之二氧化硫及農民施用含硫肥料如硫酸銨常常成為土壤中硫的補充來源。

硫以SO_4^{2-}之形式被植物根部吸收，幾乎全數運送至葉部後才被還原同化(Evans, 1975)並轉運至其他部位，但仍有約10-20％是以SO_4^{2-}形式累積著。當外界硫濃度較高時，有相當大比例的硫經過莖部時會以SO_4^{2-}形式被留住(Syers et al., 1987)。當外界的硫含量減少時，儘管先前硫酸根形式的硫(sulfate-S)可自根部向莖部移動，但此時植物體內的硫再移動性卻極差，無法如N、P及K 可自成熟葉片向新葉、幼葉移動。因此，當外界缺N、P及K時，老葉易先出現缺乏該元素之徵狀；但外界缺S時卻易由新葉、幼葉出現缺硫而壞疽的徵狀。

由於自然界硫含量尙稱充足，在加上空氣中之二氧化硫及農民施用含硫肥料等，基本上並不易缺硫。反而是人類燃燒石化燃料，例如煤及石油製品，形成大量的硫氧化物例如二氧化硫(SO_2)；另外，高溫鍋爐中或引擎的高溫環境中形成了大量的氮氧化物(NOx)。這兩種化合物經過大氣反應轉變為硫酸與硝酸，隨雨落下形成酸雨。

SO_3^{2-}及HSO_3^{1-}對植物的生化與生理反應過程具有毒性已被證實(Zeigler, 1975; Malhotra and Hocking, 1976)，植物必須藉著改變SO_3^{2-}及HSO_3^{1-}成為毒性較低的形式如SO_4^{2-}，以克服其毒害。細胞內酵素或非酵

素之機制，可將SO_3^{2-}氧化為SO_4^{2-}。

植物對酸性沉降(acid precipitation)的最外表接觸為角質層(cuticle)，許多試驗顯示酸性沉降會造成角質層的損害(Evanz and Curry, 1979; Caporn and Hutchison, 1986)。在以剝離的柚子、桃子、檸檬角質層為材料，比較硫酸液、硝酸液、鹽酸液(pH均4.0)對角質層質子通透性之影響，發現硫酸可造最大之通透性。而且，角質層對質子通透之抵擋只有數小時之效果(Hugh et al., 1993)。

Porter and Sheridan(1981)發現模擬酸雨中，pH2.0的硝酸雨比pH2.0的硫酸雨更易造成苜蓿葉片的外表傷害，但硫酸雨卻降低較多的淨光合能力。Cohen et al. (1982)亦發現硫酸與硝酸的混合酸雨比單獨酸雨更易造成*Brassica japonica*的減產；但是對萵苣則正好相反。Irving (1985)則發現模擬酸雨中SO_4^{2-}對NO_3^{1-}之低比值較高比值易使蘿蔔及大豆減產。另外，Misra et al. (1989)指出酸性土壤並沒有大幅限制水稻產量，但對於落花生則有相當大的影響。

由上學者之研究顯示酸雨中的硫酸易擴大質子對角質層的通透性、易降低光合能力等，對葉片外部傷害徵狀之效果則依不同作物而有差別。但是，對於較耐酸性土壤且為本省大宗作物的水稻而言，酸雨中的硫酸究竟對水稻光合作用、稻穀產量影響多大？則未有明確的資料。因此，本試驗擬探討硫酸與亞硫酸鹽混合液處理對水稻劍葉葉綠素、水溶性蛋白質及對收穫後穀粒內穀胱甘太(glutathione)含量及種子發芽率之影響。

材料與方法

(一)材料之預備

以水稻良質米台梗九號為材料，在中興大學(台中市內)試驗田進行民國八十四年第二期作，株距25cm×25cm，施肥及管理均依一般慣用方式，於十月八日達開花盛期起陸續進行試驗處理。

(二)硫酸與亞硫酸鹽混合液處理

以不同濃度的硫酸及亞硫酸鹽混合物模擬酸雨中由SO_2轉變而來之部份，進行噴灑，觀察其對水稻葉片之影響。在開花期及充實期起，每間隔一天全株噴灑，藥劑量為$1.25m^2$內種植20株(行株距各25cm)，五分鐘內共噴灑700ml，處理五至十次，處理期間以PVC塑膠布遮雨，以避免降雨干擾，並且定期採樣分析及調查記錄之，試驗取樣為三重複。藥劑處理濃度如下：

對照組：不加以處理，正常栽培方式。

處理一：以95%H_2SO_4緩緩加入蒸餾水中至pH3.4為止，再加入tween 20至濃度為0.02%。

處理二：以95%H_2SO_4緩緩加入3mM Na_2SO_3溶液中至pH3.4為止，再加入tween 20至濃度為0.02%。

處理三：以95%H_2SO_4緩緩加入蒸餾水至pH2.4為止，再加入tween 20至濃度為0.02%。

(三)調查項目

a.葉片滲漏電導度：

剪取劍葉葉圓片(直徑0.65cm)5片，立即置於含10ml去離子水試管中，在室溫下緩慢震盪24小時後，利用Suntex 17A電導度計讀取電導度值。

b.葉片葉綠素含量：

剪取15片葉圓片置於研缽中，以1 ml sodium phosphote buffer (50 mM, pH 6.8) 研磨成均質，取40 μ 1未離心之均質液加入960 μ 1絕對酒精，在4℃，黑暗下放置30分鐘之後。在4℃下以1000g離心15分鐘，測上清液在波長665nm、649nm下之吸光值。樣品中葉綠素濃度(total chlorophy11)為 $6.1 \times A_{665} + 20.04 \times A_{649}$(μ g/ml)，而樣品中葉綠素含量(mg/g f.w.)則為 total chlorophy11×1000÷40÷1000÷g. fresh weight。

c.葉片可溶性蛋白質含量：

剪取15片葉圓片置於研缽中，以1ml sodium phosphate buffer (50 mM, pH 6.8) 研磨成均質，在4℃下以17600 g離心20分鐘。取上清液20 μ 1，加入5ml dye solution，靜置10分鐘後測定波長595nm下之吸光值。樣品內蛋白質含量以小牛血清蛋白(bovine serum albumin)做出標準曲線來估算，其消光係數為$0.01 \mu g^{-1}cm^{-1}$。樣品內蛋白質含量則為：蛋白質量×50(稀釋倍數)÷切離葉片鮮重÷1000＝mg/g f.w.。

d.穀光甘太(glutathione)含量分析：

包括reduced form, bound form, oxidized form分析如下：

取植物材料0.5g以2ml, 5% SSA (5-sulfosalicylic acid, W/V)內含1mM Na_2EDTA, 4℃下研磨萃取，離心，取上清液測定GSH/GSSH，殘渣保留供抽取bound form glutathione。

測定Total GSH時，700ul daily buffer(NADPH)＋100ul DTNB＋100ul萃取液，30℃水平搖動10分鐘，加10ul GR，以412nm測其反應速率。

測定oxidized form(GSSG)時，取上清液200ul＋4ul vinylpyridine劇烈搖動後，沿管壁緩緩加入6ul 35uM triethanolamine, 震動並使pH維持於6～7，若pH大於7則少加些triethanolamine，30℃下靜置60mins，取25ul如上分析。

測定bound form (PSSG)時，取殘渣以2ml 20mM phosphate buffer pH 7.4 (5 mM Na2EDTA, 10mM DDT)為抽取液，30℃震動抽取60mins，離心後如測total form方法。

計算Reduced form(GSH) = total form－oxidized form

e.葉綠素螢光釋出量：

葉綠素螢光反應是以Plant Stress Meter測之(Biomonitor, S.C.I. AB, Sweden)，先將遮光夾夾住葉片，遮光10分鐘以上，再測定之。

f.一般農藝性狀及產量調查：

株高、穗數、一穗粒數、稔實率及千粒重等。

g.水稻種子人工老化後發芽試驗：

將收穫後之種子以40℃，100%相對濕度在黑暗下處理5天或10天後，進行發芽試驗，調查其在26±1℃下發芽速度(3日內)及15日內之發芽率。

結果與討論

在開花期噴灑稀釋硫酸液後，以打孔器取水稻台梗九號劍葉葉圓片進行電導度測定時，經24小時之震盪後發現對照組葉圓片大多數仍漂浮於去離子水之上，而各處理之葉圓片幾乎均沈入去離子水中，如表一；這表示添加展著劑tween 20於處理藥劑中，雖經十日在田間的自然環境下，噴灑後附著於葉片之展著劑tween 20仍有效果，可增加葉片表面與去離子水之接觸面，而使處理之葉圓片沈入去離子水中。當植物遭受逆境時，若其細胞膜系已有損傷時，細胞內容物易滲出細胞外造成溶液中電解質增加，使電導度變大。在開花期噴灑稀釋硫酸液後，由表一可知pH2.4之處理，葉片滲漏電導度略高於其他處理；但整體說來，電導度及葉綠素含量差異不大。水溶性蛋白質含量，則以處理組略高於對照組，但差異仍未顯著。

本試驗中有關Na_2SO_3處理試驗結果僅列於圖表中以供參考，並未併入變方分析。因為在許多調查項目中，Na_2SO_3處理結果較近似對照組，似乎與一般模擬酸雨試驗之結果趨勢不同。雖然亞硫酸根對植物之危害較硫酸根大，但在大氣中亞硫酸濃度較低而且較不穩定，在本試驗中亦發現每次配妥之pH3.4 Na_2SO_3溶液經過12小時後其pH值已降至pH3.0附近，但未含Na_2SO_3的pH3.4及pH2.4稀硫酸溶液則無明顯之pH值波動，顯示Na_2SO_3溶液確實較不穩定；這

表一　開花期噴灑5次硫酸液後對台梗九號水稻劍葉之影響

Table 1. Effect of simulated sulfuric acid rain at heading on flag leaf of rice cv. TK9.

	No. of leaf disk floating	Conductivity μ Ω/cm	Chlorophyll mg/g f.w.	Soluble protein mg/g f.w.
Check	3. 17	2066	3. 25	45. 56
	±1. 59	± 334	±0. 34	± 3. 66
pH 2.4	0. 33	2334	3. 35	55. 93
	±0. 33	± 176	±0. 27	± 3. 52
pH 3.4	0. 83	1900	3. 51	52. 08
	±0. 17	± 404	±0. 36	± 6. 71
3mM Na_2SO_3	0. 67	1700	3. 70	47. 84
and pH 3.4	±0. 67	± 174	±0. 29	± 3. 32

導致本試驗中Na_2SO_3處理之樣本平均值標準偏差(standard error)普遍較大。有關Na_2SO_3處理對水稻生育之影響有待進一步研究，若欲如本試驗在田間進行之，則試驗重複數應再提高，才可獲得較確切的結果。

由開花盛期起每隔一天處理五次後(開花期處理)與處理十次後(自開花期處理至穀粒充實期)之結果如表二，兩個時期取樣測電導度時均以對照組葉圓片未沈入去離子水之片數較多。開花期處理之電導度、葉綠素含量、水溶性蛋白質含量並無明顯差異，穀粒充實期處理則以對照組有最大的電導度及最低的水溶性蛋白質含量。無論是何種處理，葉綠素含量與水溶性蛋白質含量均以開花盛期大於穀粒充實期。單獨在穀粒充實期每隔一天處理五次後之結果如表三，各項調查分析項目均未有明顯差異。基本上，水稻是耐酸性土壤的作物(Misra et al., 1989)，其能忍受之酸雨pH值亦可能較低；可能必須使用更低pH值硫酸液並延長處理時間，才容易出現明顯的傷害病徵與生理指標可供探討。

通常模擬酸雨處理易侵蝕葉表臘質等保護構造(Evanz and Curry, 1979; Caporn and Hutchison, 1986; Hugh et al., 1993)，若傷害繼續擴大，則導致葉片滲漏電導度增加。嚴重酸雨傷害易造成造成葉片葉綠素含量及光合作用率等久下降爲眾所周知，但有的學者亦發現pH2.5酸霧處理後，紅縱樹(red spruce)幼苗單位葉面積內葉綠素含量明顯增加，但表示成每單位葉綠素的光飽和及二氧化碳飽和之光合用速率則明顯下降，類似情形在豆類及番椒均有之(Eamus and Fowler, 1990)，這種結果多發生在酸雨處理傷害造成落葉，而殘存之未傷害葉片上。但本試驗期間之田間觀察並未能發現酸雨傷害的病徵，葉片數亦未減少或變形等。而常被用於逆境傷害生理指標之一的葉片葉綠素螢光反應(Bolhar-Nordenkampf and Oquist, 1993)亦無差異，如表四。由於劍葉葉片之葉綠表、水溶性蛋白質含量、滲漏電導度及葉綠素螢光反應等均無明顯差異，可推測本酸雨試驗對穀粒充實性狀應不易造成影響，而由表五也發現千粒重、稔實率及產量等均未有顯著差異。

Lee et al. (1981) 調查模擬之硫酸雨對35種作物之傷害，發現pH3.0、3.5及4.0之下，分別有31、28及5種作物葉部出現傷害徵狀，但是對產量之影響則依利用部位及作物種類不同而有所差異。一般學者多集中注意酸雨造成葉片等營養器官之傷害程度，但

表二 開花期及穀粒充實期各噴灑5次硫酸液後對台梗九號水稻劍葉之影響

Table 2. Effect of simulated sulfuric acid rain at heading and grain filling stage on flag leaf of rice cv. TK9.

Treatment	Stage	No. of leaf disk floating	Conductivity μ Ω/cm	Chlorophyll mg/g f.w.	Soluble protein mg/g f.w.
Check	heading	2. 50	1566	3. 30	51. 11
		±0. 29	± 240	±0. 16	± 2. 32
	grain filling	3. 83	1966	2. 97	30. 04
		±0. 60	± 318	±0. 28	± 3. 97
pH 2.4	heading	0. 17	1434	3. 35	51. 52
		±0. 17	± 134	0. 28	± 2. 16
	grain filling	2. 67	1434	2. 71	38. 92
		±1. 30	± 66	±0. 36	± 4. 87
pH 3.4	heading	2. 0	1966	3. 14	46. 64
		±1. 53	± 318	±0. 20	± 1. 37
	grain filling	3. 50	1334	2. 75	41. 53
		±0. 58	± 186	±0. 18	± 0. 99
3mM Na_2SO_3	heading	0. 50	1600	3. 45	47. 20
and pH 3.4		±0. 50	± 100	±0. 14	± 1. 80
	graing filling	0. 00	1500	3. 17	33. 55
		±0. 00	± 58	±0. 09	± 2. 61

表三　穀粒充實期噴灑5次硫酸液後對台梗九號水稻劍葉之影響

Table 3. Effect of simulated sulfuric acid rain at grain filling stage on flag leaf of rice cv. TK9.

	No. of leaf disk floating	Conductivity μ Ω/cm	Chlorophyll mg/g f.w.	Soluble protein mg/g f.w.
Check	3. 17	2066	3. 03	35. 97
	±1. 59	± 334	±0. 12	± 1. 25
pH 2.4	3. 83	1400	2. 90	32. 96
	±1. 17	± 152	±0. 09	± 4. 37
pH 3.4	3. 33	1334	3. 20	32. 87
	±0. 83	± 34	±0. 30	± 2. 66
3mM Na_2SO_3	3. 33	2000	2. 98	35. 25
and pH 3.4	±1. 20	± 306	±0. 13	± 0. 56

表四 開花期及穀粒充實期各噴灑5次硫酸液後對台梗九號水稻劍葉葉綠素螢光釋出量之影響

Table 4. Effect of simulated sulfuric acid rain at heading and grain filling stage on chlorophyll fluorescence of flag leaf of rice cv. TK9.

Treatment	$t_{1/2}$ (ms)	F_o*	Fm*	Fv*/Fm
Check	107. 1	0. 467	1. 912	0. 75
	± 4. 1	±0. 008	±0. 041	±0. 01
pH 2.4	108. 7	0. 446	1. 821	0. 75
	± 8. 2	±0. 009	±0. 180	±0. 03
pH 3.4	98. 4	0. 462	1. 741	0. 73
	± 4. 2	±0. 029	±0. 131	±0. 02
3mM Na_2SO_3	114. 9	0. 454	1. 771	0. 74
and pH 3.4	± 2. 8	±0. 006	±0. 048	±0. 01

＊：F_0：minimal level；Fm：maximal level

Fv：variable level＝Fm－F_0

表五 開花期及穀粒充實期各噴灑5次硫酸液後對台梗九號水稻農藝性狀之影響

Table 5. Effect of simulated sulfuric acid rain at heading and grain filling stage on yield characteristics of rice cv TK9.

Treatment	Plant height (cm)	Panicle no.	1000 grains wt.(gm)	Grain no./ panicle	Fertile %	Yield kg/ha
Check	106. 8	16. 7	23. 4	123. 2	88. 7	6771
	± 0. 9	± 1. 6	± 0. 5	± 3. 0	± 2. 2	± 463
pH 2.4	105. 4	15. 4	22. 8	118. 2	90. 0	5970
	± 1. 7	± 0. 8	± 0. 3	± 4. 0	± 1. 2	± 128
pH 3.4	107. 6	17. 2	22. 5	102. 5	91. 6	5758
	± 1. 9	± 1. 4	± 0. 2	± 8. 7	± 1. 5	± 129
3mM Na_2SO_3	106. 9	14. 1	23. 5	130. 3	91. 8	6392
and pH 3.4	± 2. 4	± 1. 2	± 0. 8	± 9. 8	± 1. 3	± 934

酸雨對種子內有機硫之影響則較少受到注意。植物體內水溶性非蛋白質之硫氫化合物(thio compound) 約有90%是以穀胱甘太(glutathione)形式存在(De Kok and Stulen, 1993)，穀胱甘太除參與硫之代謝亦廣泛參與植物對抗過氧化(Oosterhaven et al., 1995)及其他逆境如鎘離子毒害等(Chen and Kao, 1995)，亦與小麥種子蛋白質分解(Kobrehel et al., 1992)、打破大麥種子休眠(Fontaine et al., 1995)等有關。由前述有關穀胱甘太之已知研究，加上由表六發現pH2.4及pH3.4之酸雨處理後，水稻去殼種子內氧化態穀胱甘太含量明顯低於對照組。推測雖然本試驗中水稻產量性狀未有明顯改變，如表五；但種子內含物如穀胱甘太含量已發生改變，可能影響種子性狀，例如種子活力、發芽率及儲存品質等。

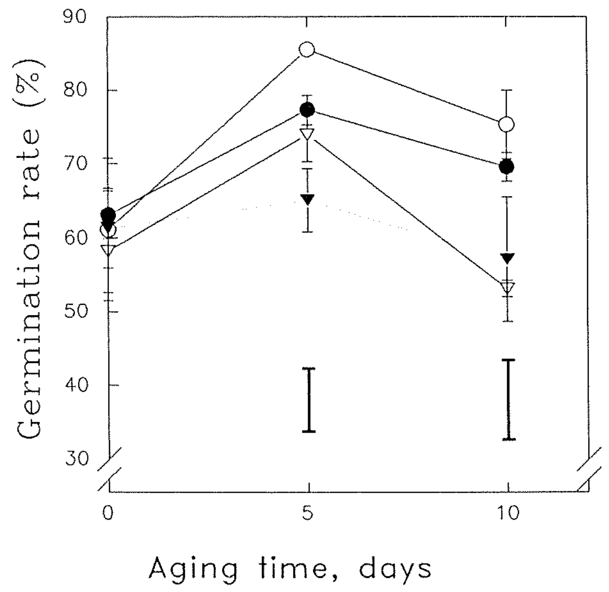
由於不同處理間調查的諸多性狀僅氧化態穀胱甘太含量有較明顯之差距，爲了加快比較出酸雨處理後的微小差異，乃將收穫後種子以40℃，100％相對濕度在黑暗下進行人工老化處理。由圖一可知未進行老化處理前，酸雨處理後收穫的種子與對照組種子的浸潤三日內發芽率並無差異，亦即種子發芽整齊度無差異，但老化處理5或10日的結果則明顯區別出酸雨處理的種子發芽整齊度不如對照組，而pH2.4酸雨處理結果更明顯比對照組爲差。這顯示本試驗的微量酸雨處理之下，雖然水稻劍葉(主要光合作用場所之一)在穀粒充實期間未明顯受到傷害，但穀粒充實的內容物組成可能已不如對照組爲佳。另外，由圖二可發現浸潤十五日內的種子發芽率亦是相同的趨勢。由以上結果推測酸雨極可能會影響吾人食用的稻米品質及繁殖用的水稻種子儲存期限。由於一般酸雨試驗極少涉及處理後收穫種子之研究，因此有待進一步探討。

Hughes and Cox(1994)指出在人爲實驗條件下，樺樹(mountain paper birch)的花粉發芽明顯受溫度及酸霧影響；而Palokangas et al. (1995)亦指出甲蟲(*Phratora polaris*)躲在模擬酸雨噴施的植物葉背比躲在對照組植物葉背更容易被掠食者所捕獲。顯然的，由表六、圖一及圖二的結果可推測自然界中，某種程度的酸雨強度及降雨量之下，植物外觀雖無明顯變化，但酸雨可能已影響整個生態系。

表六 開花期及穀粒充實期各噴灑5次硫酸液後對台梗九號水稻去殼後米粒穀胱甘太(glutathione)含量之影響

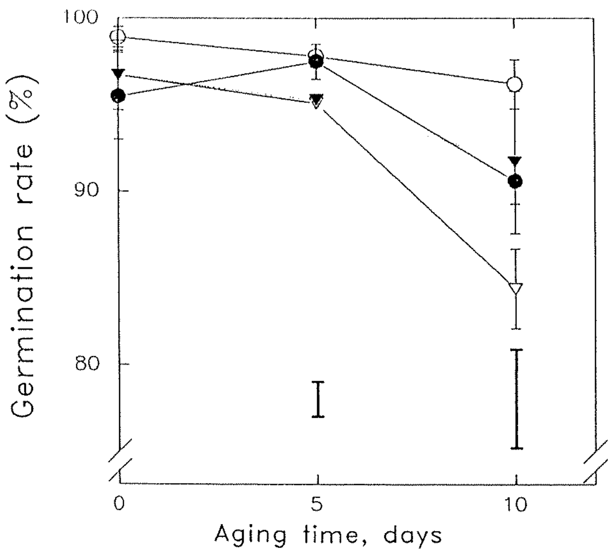
Table 6. Effect of simulated sulfuric acid rain at heading and grain filling stage on glutathione content in hulled grain of rice cv. TK9.

Treatment	Reduced form μ g/grain	Bound form μ g/grain	Oxidized form μ g/grain	Reduced oxidized ration
Check	1. 344	0. 502	0. 067	20. 07
	±0. 108	±0. 007	±0. 005	± 1. 11
pH 2.4	1. 237	0. 437	0. 047	26. 93
	±0. 068	±0. 024	±0. 003	± 3. 32
pH 3.4	1. 078	0. 417	0. 039	28. 27
	±0. 104	±0. 062	±0. 005	± 2. 48
LSD 5％	ns	ns	0. 015	ns
3mM Na_2SO_3	1. 344	0. 500	0. 051	29. 57
and pH 3.4	±0. 046	±0. 022	±0. 010	± 8. 36



圖一：開花期及穀粒充實期各噴灑5次硫酸液對台梗九號水稻種子老化處理後浸潤三日發芽率之響。

Fig.1. Changes in germination rates of accelerated aging rice seeds imbibed for 3 days. Seeds were harvested from rice plant cv. TK9 treated with simulated sulfuric acid rain (—●— check, —○— pH3.4, —▽— pH2.4, —▼— Na_2SO_4 (pH3.4) at anthesis and grain filling stage. Coarse vertical bars indicated LSD at 5% level.



圖二：開花期及穀粒充實期各噴灑5次硫酸液對台梗九號水稻種子老化處理後浸潤十五日發芽率之影響。

Fig.2. Changes in germination rates of accelerated aging rice seeds imbibed for 15 days. Treatments were the same as those in figure 1.

引用文獻

Bolhar-Nordenkampf, H.R. and G. Oquist. 1993. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis reseach. In Photosynthesis and production on a changing environment. (eds Hall, D.O., J.M.O. Scurlock, H.R. Bolhar, R.C. Nordenkampf, Leegood and S.P. Long) pp.193-219. Chapman & Hall, London, UK.

Capom, S.J. and T.C. Hutchinson, 1986. The contrasting response to simulated acid rain of leaves and cotyledons of cabbage (*Brassica oleracea* L.) New Phytol. 103: 311-324.

Chen, S.L. and C.H. Kao. 1995. Glutathione reduces the inhibition of rice seedling root growth caused by cadmium. Plant growth regulation 16:249-252.

Cohen, C.J., L.C. Grothaus and S.C. Perrigan. 1982. Effects of simulated sulfuric and sulfuric-nitric acid rain on crop plants: results of 1980 crop survey. Special Rep. 670. Oregon State Univ. Corvallis, OR.

De Kok, L.J. and I. Stulen. 1993. Role of glutathione in plants under oxidative stress. In Sulfur nutrition and assimilation in higher plants. (eds. L.J. Kok et al.) SPB Academic Publishing bv, Hgue, Netherlands.

Eamus, D. and D. Fowler. 1990. Photosynthetic and stomatal conductance response to acid mist of red spruce seedlings. Plant Cell Eviron. 13:349-357.

Evans, L.S. and T.M. Curry. 1970. Differential responses of plant foliage to simulated acid rain. Am. J. Bot. 64:903-913.

Evans, L.T. 1975. Sulphur in agriculture. In:Sulphur in Australian agriculture, McLachlan, K.D. ed. pp. 3-9. Sydney: Sydney U.P.

Fontaine, O., J.P. Bilard and C. Huault. 1995. Effect of glutathione on dormancy breakage in barley seeds. Plant growth regulation 16:55-58.

Hsieh, W.L. and J.M. Sung. 1986. CO_2 exchange rate and translocation during reproductive growth in soybean differing in leaf morphology, J. Agric. Assoc. China NS 135:25-32.

Hugh, D.H., K.D. Walters and V.S. Berg. 1993. Pattems of effective permeability of leaf cuticles to acids. Plant Physiol. 101:251-257.

Hughes, R.N. and R.M. Cox. 1994. Acidic fog and temperature effects on stigmatic receptivity in two birch species. J. Environ. Quality 23(4):686-692.

Irving, P.M. 1985. Modeling the response of greenhounse-grown radish plant to acidic reain. Environ. Exp. Bot. 25:327-338.

Kobrehel, K., J. H. Wong, A. Balogh, F. Kiss, B. C. Yee and B.B. Buchanan. 1992. Specific reduction of wheat storage proteins by thioredoxin *h*. Plant Physiol. 99:919-924.

Lee, J.J., G.E. Neely, S.C. Perrigan and L.C. Grothaus. 1981. Effect of simulated sulfuric acid rain on yield, growth and foliar injury of several crops. Environ. Exper. bot. 21(2):171-185.

Malhotra, S.S. and D. Hoching. 1976. Biochemical and cytological effects of sulfur dioxide on plant metabolism. New Phytol. 76:227-237.

Misra, U.K., S. Satapathy and N. Panda. 1989. Characterization of some acid soils of Orissa:I-Nature of soil acidity, J.Indian Soc. Soil Sci. 37:22-28.

Oosterhaven, K., K. J. Hartmans, J. J. C. Scheffer and L.H.W. van der Plas. 1995.

S-carvone inhibits phenylalanine ammonia lyase(PAL) activity and suberization during would healing of potato tubers. J.Plant Physiol. 146: 288-294.

Palocangas, P., S. Neuvonen and S. Haapala. 1995. The effects of simulated acid rain on growth and susceptibility to predation of *Phratora polaris* (Col., Chrysomelidae) Environ. pollution 89:67-71.

Pitman, M.G. and W.J. Cram, 1977. Regulation of ion content in whole plants. Symp. Soc. Exp. Biol. 31:391-424.

Porter, J. R. and R. P. Sheridan. 1981. Inhibition of nitrogen fixation in alfalfa by arsenate heavy metals, fluoride and simulated acid rain. Plant Physiol. 68: 143-148.

Raven, J. A. 1980. Nutrient transport in microalgae. Adv. Microbil. Physiol. 21: 47-226.

Syers, J.K., R.J. Skinner and D. Cutin 1987. Soil and fertilizer sulphur in U.K. agriculture. The Fertilizer Society, Procs. No. 264.pp.1-43.

von Hippel, P. H., V., Peticolas, L. Schack and L. Karlson, 1973. Model studies on the effects of neutral sals on the conformational stability of biological macromolecules. I.Ion binding to polyacrylamide and polystyrene columns. Biochemistry. 12:1256-1264.

Ziegler, I. 1975. The effects of sulfur dioxide pollution on plant metabolism. Residue Rev. 56:79-105.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 155-167, 1996

模擬酸雨對落花生生理反應之影響

姚銘輝　漆匡時　蔡金川
臺灣省農業試驗所農工系

內　容

摘要 ………… 156
英文摘要 ………… 156
前言 ………… 156
材料與方法 ………… 157
結果與討論 ………… 157
引用文獻 ………… 166

模擬酸雨對落花生生理反應之影響

姚銘輝　漆匡時　蔡金川

臺灣省農業試驗所農工系

摘　要

本試驗目的為探討不同酸度及處理次數對落花生葉片生理反應(表皮導度、葉綠素、表層臘質及二氧化碳交換速率)的影響。結果顯示，處理酸度pH2.5將使表皮細胞葉綠素含量及臘質明顯減少，並且下降幅度與處理次數有密切關係。相同酸度亦將使二氧化碳交換速率降低，其原因可能是葉綠素含量減少及氣孔關閉所致。然而，處理酸度在pH3.0 以上對各種生理介量都無影響

關鍵詞：模擬酸雨、表皮導度、腊質、二氧化碳交換速率

Effect of Simulated Acid Rain on Physiological Responses of Peanut

Ming-Hwi Yao, Kung-Shy Chi and Jin-Chuan Tsai (Department of Agricultural Engineering, Taiwan Agricultural Rearch Institue, Wufeng, Taichung, Taiwan, R.O.C.)

Abstract : The objectives of the present study were to monitor peanut leaf physiological (i.e. epidermis conductance, chlorophyll levels, cuticle wax levels and CO_2 exchange rate) and injury response to determine if pH values and treatment frequency in combination, could cause alteration in these parameters. Results indicated that little or no adverse effects were produced on physiological response by simulated acid rain of pH above 3.0 during exposure. However, simulated acid rain treatments at pH 2.5 significantly decrease of chlorophyll and wax on epidermis cell. These alterations closely paralleled increase in treatment frequency. However, the decrease of CO_2 exchnage rate was consided to be caused by the reduction of chlorophyll content and the close of stoma to when exposed to at acid rain pH 2.5.

Key words：Simulated acid rain, Epidermis conductance, Wax, CO_2 exchange rate (CER)

前　言

酸雨或酸霧對植物表層的傷害，主要是在葉片上產生白色或褐色的壞死斑點及黃化現象，花朵則產生褪色斑點。葉片受害程度與pH值的高低有關，一般而言，森林植物pH 3.5以下受害，農作物則pH 3.0以下受害(Olszyk et al., 1989)。酸雨使葉片及花卉斑點產生受害程度的關係與雨水中氫

離子濃度及接觸時間相依存，氫離子濃度增加（pH值下降）則被害面積增加（Evans, 1982）。另外，雨滴粒子在表片上呈粒狀或薄膜狀的差異亦將影響葉片受害程度。雨滴滯留在葉脈受害較輕，在葉緣及葉尖則受害重（Evans, 1982）。溫度、濕度、風速、葉片浸濡程度、葉型及接觸時間皆直接或間接影響受害程度。

酸雨對農作物的生理傷害是多方面的，例如降低葉綠素含量(Ferenbaugh, 1976)，葉片黃化及伸長受阻(Irving et al., 1983)，降低淨光合速率(Yunfeng et al.,1996)，花粉發芽率降低(Forsline et al., 1983)、表層腊質減少(Percy and Baker, 1987)及表皮導度產生變異(Knittel and pell, 1991)。

落花生為世界重要雜糧作物之一。本省早年落花生栽培面積曾高達每年十萬公頃，是當時主要的食用油源之一。近年來，落花生製油用途雖然減少，但加工及食用卻相對的大幅提高，因此，每年栽培面積仍舊維持在四萬公頃左右，而成為本省最穩定的雜糧作物。落花生在光合作用機制上的區分，屬C_3型植物，其淨光合作用速率，幾乎超過所有其他C_3型植物，且在光量高至1400 μ E m^{-2} s^{-1}時，仍未到達光飽合點，具有極高之乾物質生產能力。此外，在空氣污染研究中，落花生為一種極佳指標作物(尤其是氫氣污染)，對酸雨反應為亦屬於敏感性作物。本試驗主要是以落花生為材料，探討不同酸度之模擬酸雨對落花生葉片生理反應的影響，並以不同噴施次數探討酸雨量與植物受害程度之間的關係，希望藉由此探討能更深入了解酸雨害。

材料與方法

試驗採用臺南11號品種為材料，以盆缽方式種植於塑膠布溫室內，以避免天然雨水及減少粉塵沉降，土壤係取田間壤土與有機肥料。以1：1比例種植，生育期間施用一次複合肥料作為追肥，水份則以水管直接灌入盆缽土壤內，避免淋澆於葉片上。

酸雨處理分pH3.5，3.0及2.5等三種，配製以硝酸：硫酸＝2.5：1(體積比)，用噴霧器噴灑，於植株上方30公分處噴灑使雨粒自由落下，雨滴粒徑以水試紙測定，約為0.5- 1公厘。每次噴施雨量為1公厘，於早上8時噴施，每次噴施約可維持葉片完全濕潤20分鐘。葉片生理反應測定則以始花期成熟葉片為材料。生理反應測定項目為葉片臘質含量、氣孔導度、葉綠素含量及二氧化碳交換速率等。各性狀測定方法如下所述：

1. 臘質含量測定，係依據Mayeux等人(1981)方法修飾而成，取直徑2公分之葉圓片10片，用蒸餾水沖洗二次後加入30毫升chloroform，在室溫下浸15分鐘，再將溶液倒入預先稱重之燒杯中，放入烘箱內以50℃烘乾後，經稱重並減去燒杯重即為臘質含量。
2. 葉片上表皮及下表皮氣孔導度係以LI-1600 steady state porometer (Licor Inc. Nebraska, USA)測定，每盆選生長一致的葉片測定，將測得數據取平均值。
3. 葉綠素測定是取直徑1公分之葉圓片3片，放入試管中，加5毫升95％(v/v)酒精在黑暗中萃取48小時，用光電比色計在665, 649, 470mm波長下測吸光度(Arnon and Johnson, 1942)。
4. 二氧化碳交換速率(CO_2 exchange rate; CER)是取完全展開葉，用近紅外線二氧化碳分析儀(6252 CO_2 analyzer(IRGA)，Licor Inc. Nebraska, USA)，氣體流速控制在6升/分鐘，每一測定值為15分鐘。

結果與討論

酸雨對植物體最直接的作用部位在葉片表層之表皮。表皮是由果膠層（pectin）、角質層（cutin）、臘層（wax）及表層臘質（epicuticular wax)所組成，可保護植物免受環境中化學及物理的傷害，及防止植物體內水份的蒸散。表層的最外側為表層臘質，上有皮狀、緞帶狀、管狀及桿狀等各式不同的結晶臘質。本試驗中首先分析落

花生葉片在未處理酸雨時，上下表皮腊質分佈情形，由圖 1可知上表皮含量爲14 g/m^2，下表皮含量則僅有0.5g/m^2。由於各種沈降物直接衝擊上表皮，所以疏水性的腊質，是葉表對抗酸雨及大氣污染的第一道防線。葉片受酸雨潤濕，表層臘質進行化學分解，首先是臘質的長鏈脂肪酸產生游離，使組成結構產生改變，進而臘質分解而破裂（Turunen and Huttunen, 1990）。本試驗中酸雨處理落花生葉片將使表層腊質分解而減少，圖2爲pH 2.5, 3.0及3.5 經1, 3及 9次處理後腊質變化情形，酸度越高則含量下降越多，並且隨處理次數下降，不過這種下降情形僅在pH3.0以下才發生，爲更詳細了解pH3.0至2.5間變化情形。圖3爲pH 2.5, 2.7, 2.9及3.0間和處理次數1, 3, 5, 7, 9等不同組合臘質變化情形，處理間差異並不大，主要是噴施次數影響較大，尤其7及9次較其他次數來得明顯。由以上結果可知pH3.0 以下腊質才有溶解現象，而在3.0至2.5之間的酸度差異不大，反而是處理次數多寡較能顯示出"劑量效應"。

落花生葉片氣孔的分佈，依據Hall等人(1993)所記載是上下葉均勻分佈，其數目爲15～20個/mm^2，但由氣孔導度所測結果則顯示下表皮的導度較上表皮爲高(圖4)。至於葉片接觸到酸液時的反應如何，在試驗中將葉片噴施不同酸度的酸雨，分別於處理後 10, 20, 30及60分鐘時測定下表皮導度變化，結果如圖5所示，pH2.5處理後10分鐘導度有下降趨勢，20分鐘後則回復至對照組相同，顯然酸對早期導度有刺激作用，使氣孔收縮而略爲關閉，經一段間後再重行打開。處理三次時，並無突然收縮現象，但平均值均較對照組爲低，至第九次時，則pH 2.5處理顯然使下表皮氣孔收縮。至於因上表皮的腊質分佈使得通氣度下降，或是氣孔開度較少使減少水份的散失。上表皮經pH 2.5酸處理後(圖6)，處理次數爲1或3次時並無差異，至第9次時則導度較對

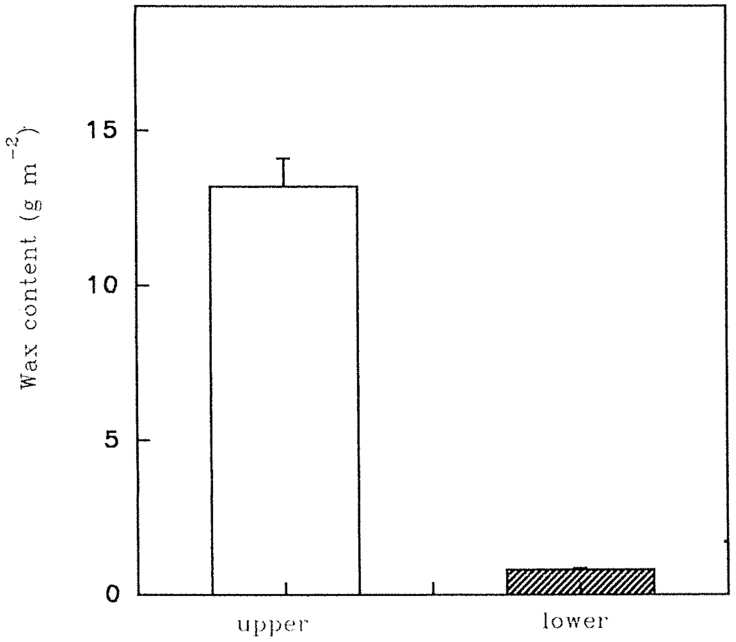


Fig. 1. Comparsion of leaf upper and lower epidermis wax content in peanut. Bar indicates standard error.

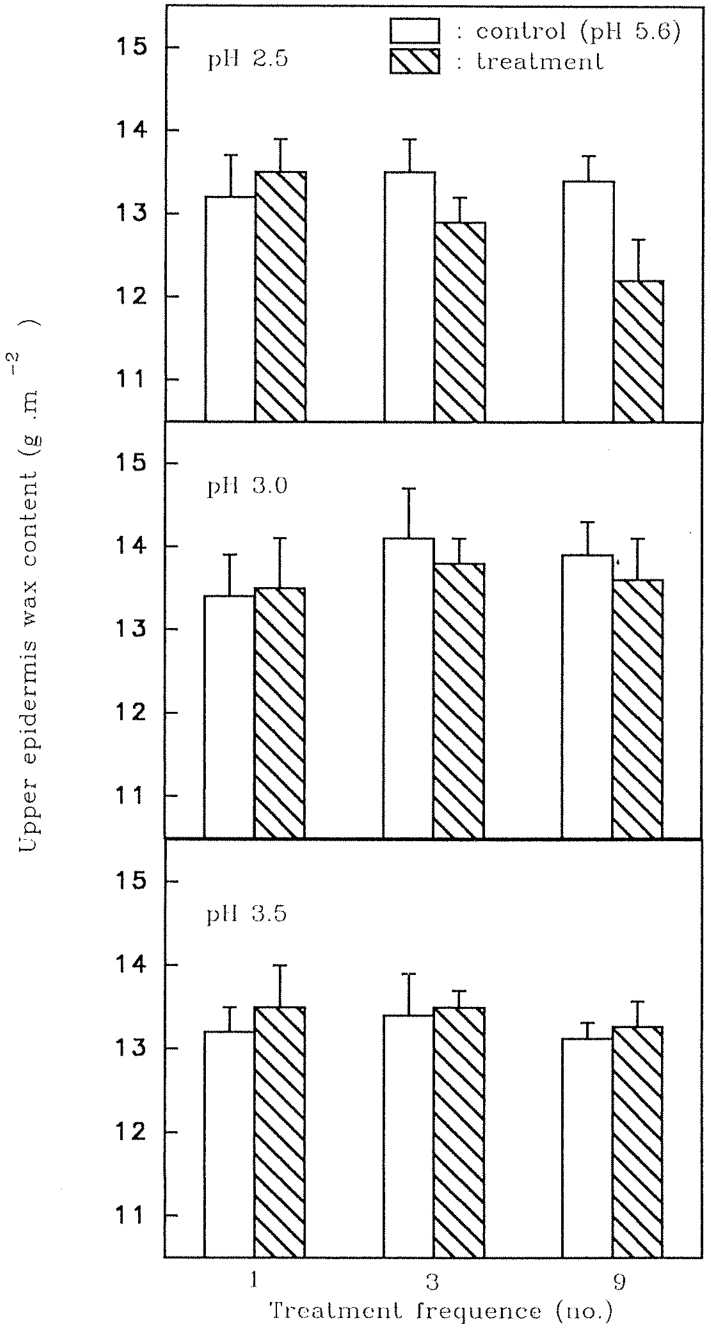


Fig. 2. Changes of upper epidermis wax content of peanut leaf under simulated scid rain treatment. Bar indicates standard error.

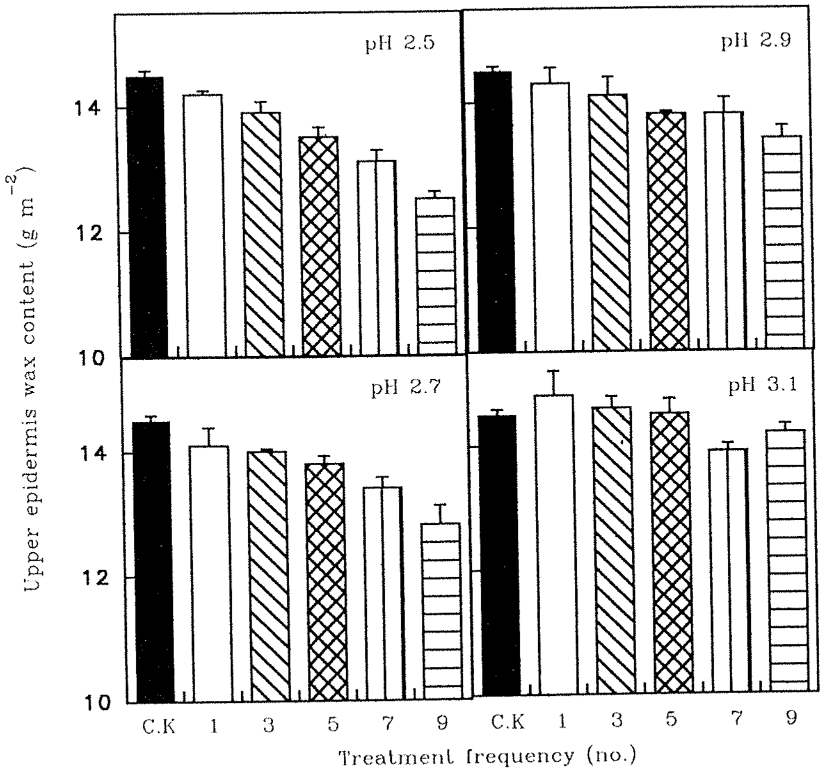


Fig 3. Changes of upper epidermis wax content of peanut leaf under simulated acid rain treatment. Bars indicates standard error.

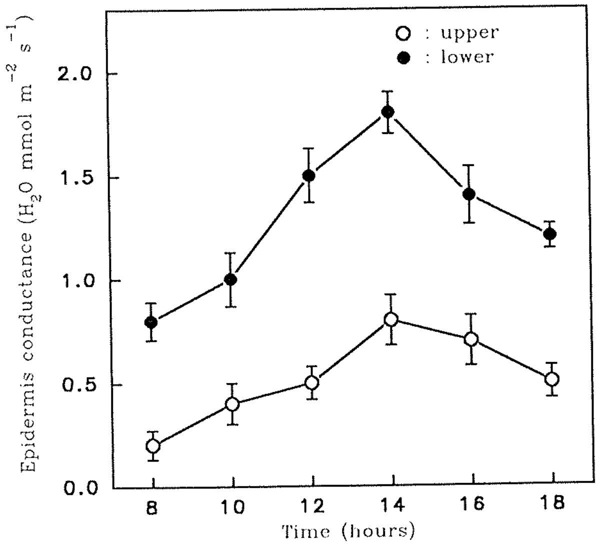


Fig 4. Comparsions of leaf upper and lower epidermis conductance in peanut. Bar indicates standard error.

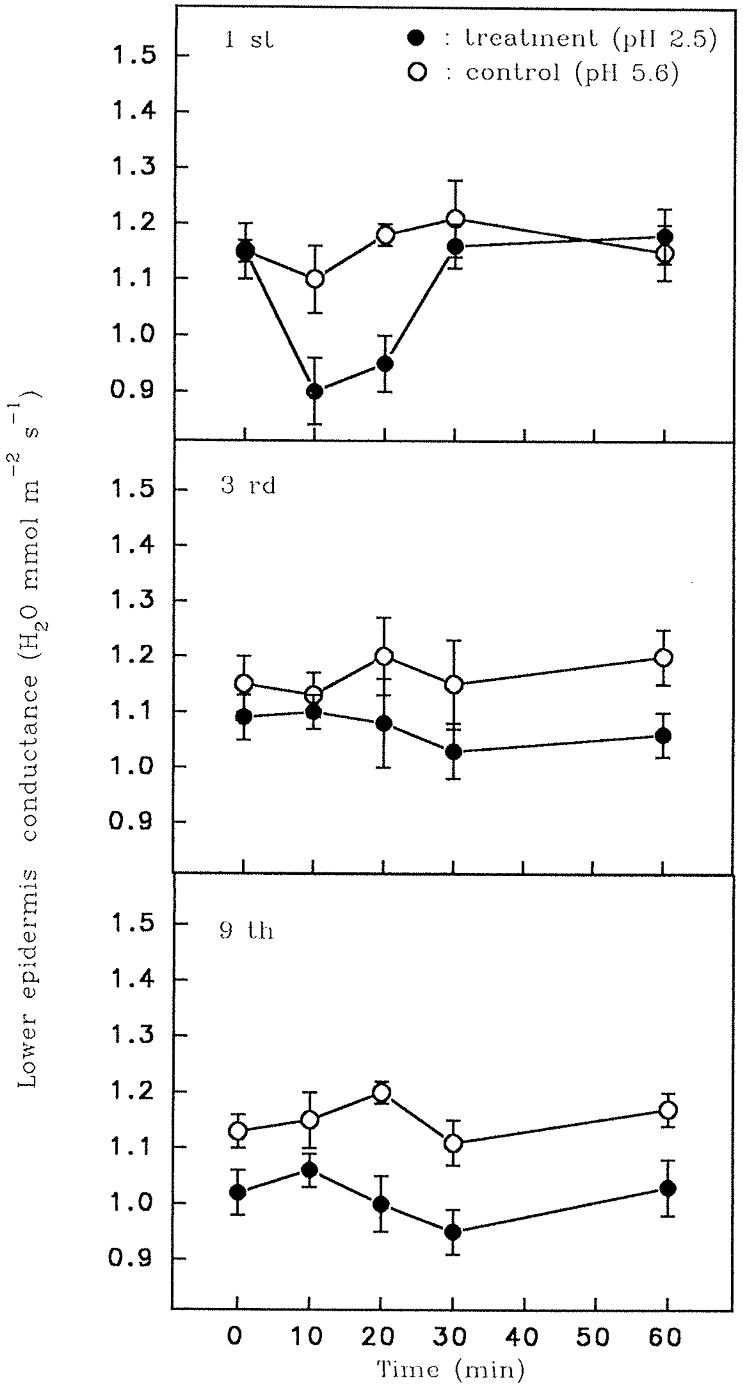


Fig 5. Effect of simulated acid rain (pH 2.5) on the diurnal changes of lower epidermis conductances of the peanut leaf. Bars indicates the standard error.

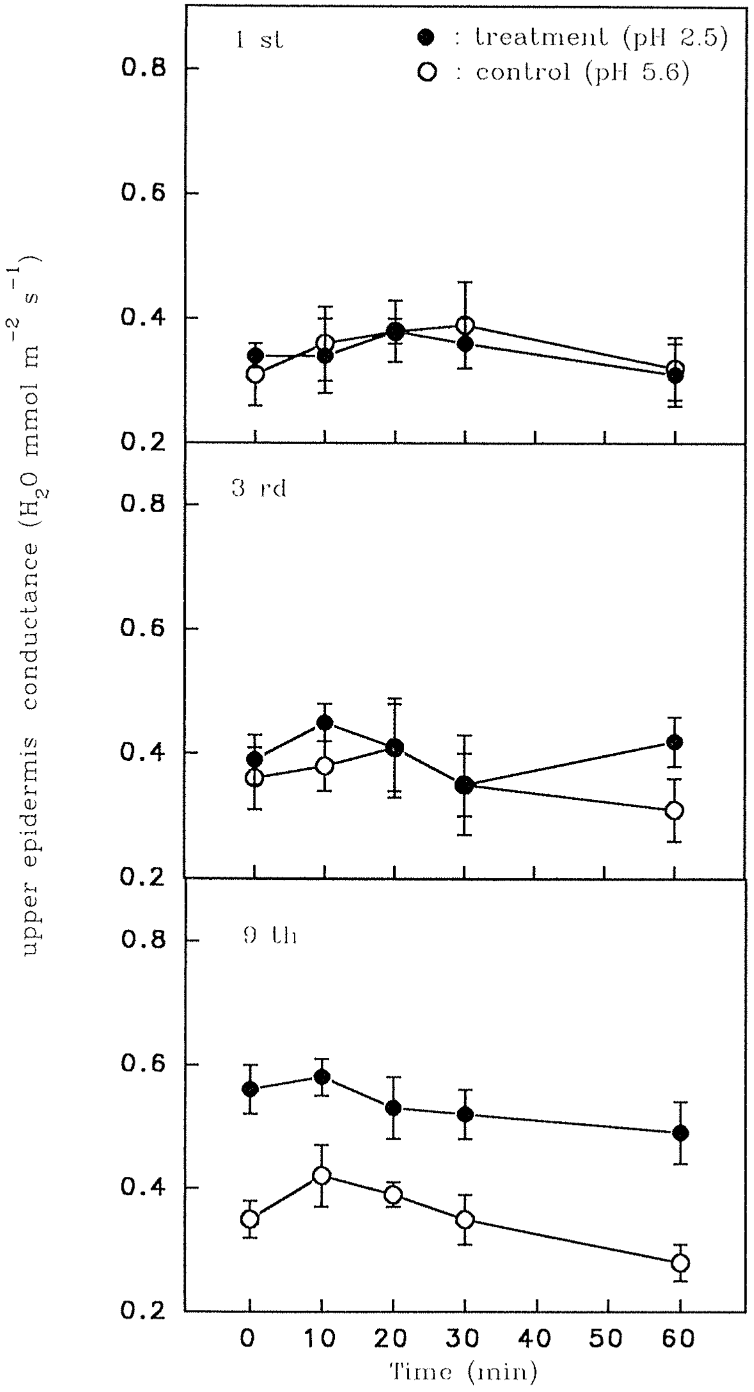


Fig 6. Effect of simulated acid rain (pH 2.5) on the diurnal changes of upper epidermis conductances of the peanut leaf. Bars indicates the standard error.

照組來的高。由上述下表皮試驗結果可知，pH 2.5酸度對氣孔有收縮作用，並且上、下表皮氣孔數目相同的情形下，上表皮導度增高的合理解釋應是臘質下降使表層通氣性增高所致，雖然，葉片通氣導度絕大部份來自於氣孔的開閉，但上表皮氣孔開度爲減少水份散失，開度不大，經酸處理後差異度不易顯現出來，反而是腊質減少才是導度增加的主要原因。

污染源引起植物葉片氣孔開閉的反應是相當重要的過程，首先，將增進或減緩光合作用二氧化碳的吸收及蒸散作用之水分喪失，再次，開度影響污染物進入葉肉組織代謝位置的數量及速率，氣孔的反應將影響污染物對植物的傷害程度。氣孔經酸雨處理後，將會有不同的反應，Eamus (1993)利用不含硫酸根之pH 2.5 酸霧處理紅縱樹，發現光度增强時可使氣孔打開，若含有硫酸根則光度超過1500 μ moles m^{-2} s^{-1}氣孔仍無反應。Trumble和Walker (1991)處理pH 2.5 酸霧在菜豆葉上，發現氣孔阻抗值較pH 6.3高37 %，而pH 3.0則增加至少27%。然而pH 3.0處理玉米葉片表層導度不受影響，並且氣孔導度在不同年度處理時有不同結果(Knittel and Pell, 1991)。因此，氣孔導度的差異表現受物種間差異，噴施濃度、處理時間及處理時環境狀態所影響。此外，污染源所引起其他生理破壞亦將使對氣孔開度受影響，氣孔保衛細胞周圍的表皮細胞受破壞後，將影響細胞間膨壓的變化，進而影響氣孔開閉。另氣孔周圍pH值的下降將影響有效離層酸(ABA)的含量，誘導氣孔關閉或保衛細胞對ABA的敏感度。不過，污染源對氣孔產生反應時，ABA必須從葉肉細胞釋放出來，在强酸下，細胞破壞，逆境或葉片水勢的減少，都可能刺激ABA由葉肉細胞內釋放出來(Unsworth and Ormrod, 1982)。

植物組織因酸雨的滲透，葉綠素含量有減少現象(Johnston et al., 1982)，由圖7得知，落花生在酸度pH2.5處理次數9次時，葉綠素含量約爲對照組的63%，此時葉片呈現黃化現象。事實上，葉綠素含量在pH 3.0以上的處理酸度是不受影響(Hindawi et al., 1980; Smith et al., 1990)。酸雨中硫酸根離子將影響膜脂質而使細胞膜通透性產生改變，sulphite 將破壞雙硫鍵而使蛋白質和膜產生破壞，並且進入葉綠體的 lamellae影響葉綠體膜，而其機制比較合理的解釋是硫化物在葉綠體葉綠層(thylakoids)膜上的基質(stroma)鍵結位置上具有競爭作用。至於酸霧方面的研究，Takemoto等人(1988)用酸處理番椒(*Capsicum annuum* L.)發現處理後葉綠素和胡蘿蔔素含量有增加現象，主要是在葉片未受害部份含量昇高，用以維持葉片綠色面積淨光合作用的正常水準，若以葉綠素含量爲單位則效率偏低，此結果和豆類植株試驗結果相同，即葉片未受傷部份能補償受傷部份的光合作用，而酸霧降低葉片光合作用主要是降低能行光合作用的葉片面積。

由於細胞內pH值對細胞代謝極爲重要，酸雨改變細胞內pH值將使phosphoenol pyruvate carboxylase的活性下降，phosphoenolpyruvate 的 carboxylation 減少 (Guern et al., 1983)。 葉綠體行光合作用pH值最高爲7.6～7.8，在pH6.5以下則停止。酸雨使葉綠體內基質(stoma)酸化，由於在光線下，葉綠體基質爲葉片上最鹼的部份，具有最高捕捉H^+能力，基質的酸化將抑制光合作用的進行(Leegood et al., 1982)。有些光活化酵素，如frucatosebiphosphatase和sedoheptu-lose bisphosphatase 在基質pH低於7.0以下甚少有活性(Pfanz and Heber, 1986)。細野及野內(1994)選定八種作物進行酸雨試驗，針對pH 2.5酸度測定葉片光合作用速率發現物種間差異極大，水稻葉片光合速率幾乎不受影響，而扁豆(bush bean)則下降相當明顯。至於落花生葉片經酸處理後二氧化碳交換速率變化情形，依初步結果，pH2.5及3.0皆有明顯下降情形(圖8)，pH2.5處理3次時，二氧化碳交換速率下降27%，處理10次時，

下降達35%，pH3.0則為13%。由結果可知，二氧化碳交換速率顯較其他生理介量對酸雨反應來得敏感，至於其原因，除葉綠素減少影響光反應外，因酸刺激而使氣孔收縮，也將使二氧化碳進入保衛細胞內腔的機會大減，此二項因素應為交換速率下降最主要的原因。

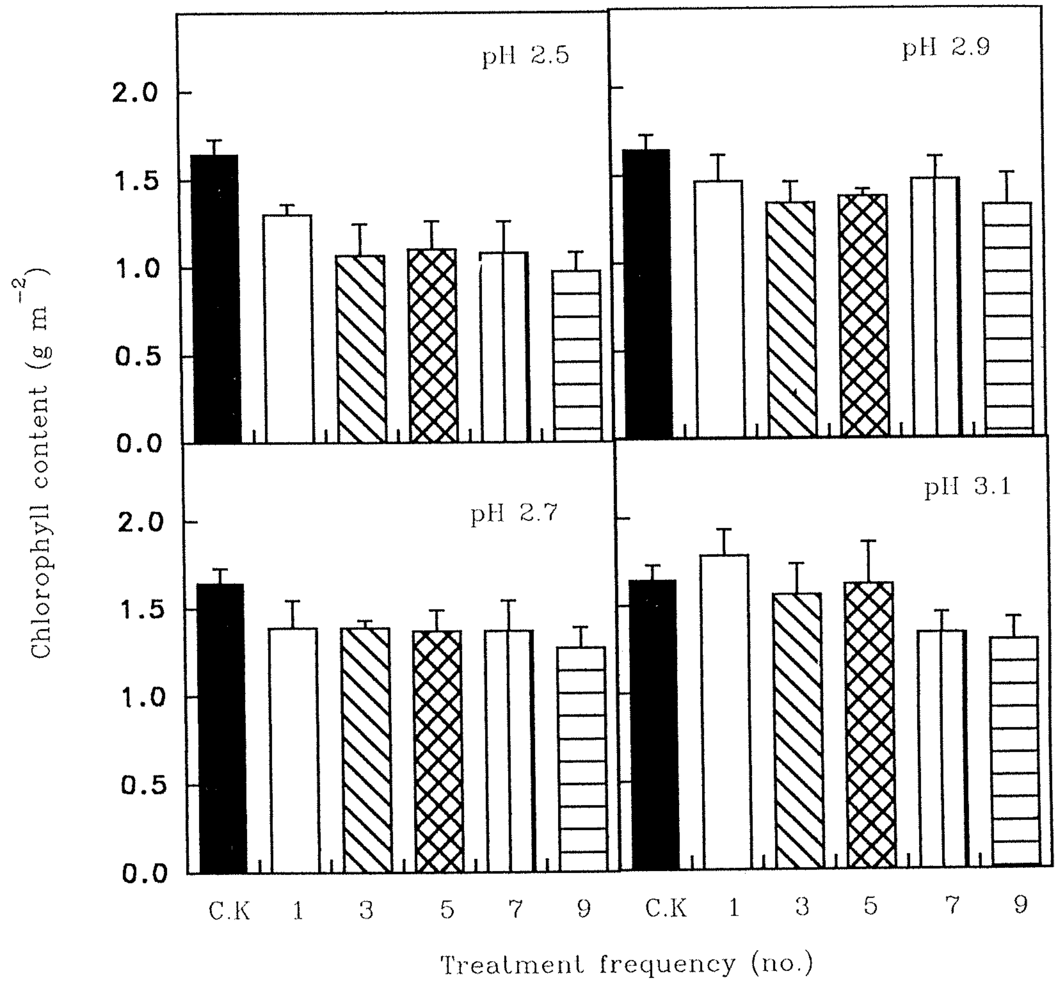


Fig 7. Changes of chlorophyll content of peanut leaf under simulated acid rain treatment. Bars indicates standard error.

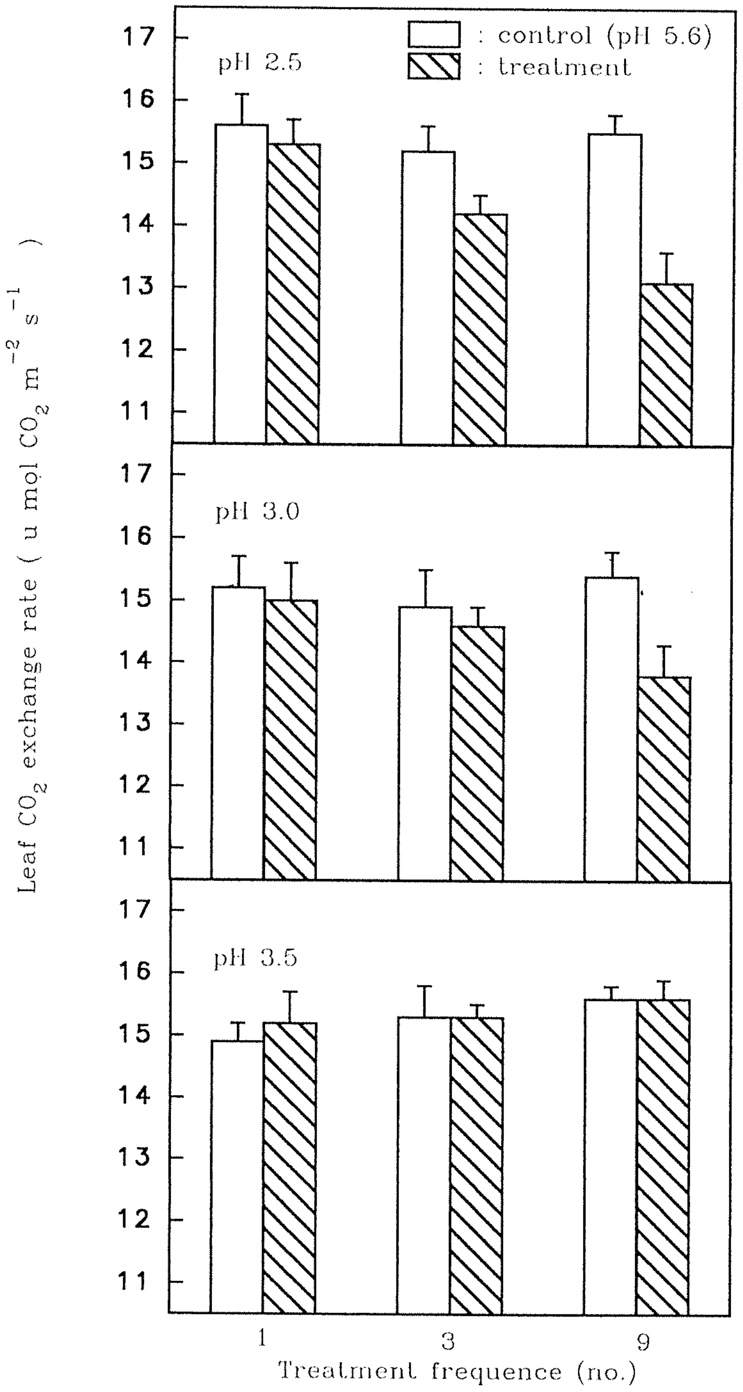


Fig 8. Changes of CO_2 exchange rate of peanut leaf under simulated acid rain treatment. Bar indicates standard error.

引用文獻

Arnon, D. I. and C. M. Johnson. 1942. Influence of hydrogen ion concentration on the growth of higher plants under controlled conditions. Plant Physiol. 17:525-539.

Eamus, D. 1993. Assimilation and stomatal conductance responses of red spruce to midwinter frosts and the constituent ions of acid mist. Tree Physiol. 13: 145-155.

Evans, L. S. 1982. Biological effects of acidity in precipitation on vegetation: A review. Environ. Exp. Bot. 22:155-159.

Ferenbaugh, R. W. 1976. Effects of simulated acid rain on *Phaselous vulgaris* L. Am. J. Bot. 63:283-288。

Forsline, P. L., R. C. Musselman, W. J. Kender and R. J. Dee. 1983. Effects of acid rain on apple tree productivity and fruit quality. J. Am. Soc. Hort. Sci. 108:70-74。

Guern, J., Y. Mathieu and A. Kurkdjian. 1983. PEPcarboxylase activity and the regulation of intracellular pH in plant cells. Physiol. Veg. 21:855-866.

Hall, D. O., J. M. Scurlock, H. R. Bolhar-nordenkampf, R. C. Leegood and S. P. Long. 1993. Photosynthesis and production in a changing environment: A field and laboratory manual. In p.95, Chapman and Hell, England.

Hindawi, I. J., J. A. Rea and W. L. Griffis. 1980. Response of bush bean exposed to acid mist. Am. J. Bot. 67:168-172。

Hosono, T and I. Nouchi. 1994. Effects of simulated acid rain on growth, yield and net-photosynthesis of several agricultural crops. J. Agr. Met. 50:121-127. (japanese)

Irving, P. M. 1983. Acidic precipitation effects on crops : A review and analysis of research. J. Environ. Qual. 12: 442-453.

Johnston, J. W. Jr., D. S. Shriner, C. I. Klarer and D. M. lodge. 1982. Effect of rain pH on senescence, growth , and yield of bush bean. Environ. Exp. Bot. 22: 329- 337.

Knittel, R and E. J. Pell. 1991. Effects of drought stress and simulated acidic rain on foliar conductance of *Zea may*. L. Environ. Exp. Bot. 31:79-90.

Leegood, R. C., Y. Kobayashi, S. Neimanis., D. A. Walker and U. Huber. 1982. Cooperative activation of chloroplast fructose 1,6-biphosphatase by reduction pH and substrate. Biochem. Biophys. Acta. 682:168-178.

Mayeux, J. R., W. R. Jordan, R. E. Meyer and S. M. Meola. 1981. Epicuticular wax on goldenweed (*Isocoma* spp.) leaves : variation with species and season. Weed Science. 29: 389-393.

Olszyk, D. M., A. Bytnerowicz and B. K. Takemoto. 1989. Photochemical pollution and vegetation : Effects of mixture of gases, fog and particles. Environ. Pollut. 61:11-29.

Percy, K. E. and E. A. Baker. 1987. Effects of simulated acid rain on production, morphology and composition of epicuticular wax and on cuticular membrane development. New Phytol. 107:577-589.

Pfanz, H. and V. Heber. 1986. Buffer capacities of leaves, leaf cells, and leaf cell organelles in relation to flux of potentially acidic gases. Plant Physiol. 81: 597- 602.

Smith, C. R., B. L. Vasilas, W. L. Banwart, D. B. Peters and W. M. Walker. 1990. Lack of physiological response of two corn hydrids to simulated acid rain. Environ. Exp. Bot. 30:435-442.

Takemoto, B. K., A. Bytnerowicz and D. M. Olszyk. 1989. Depression of photosynthesis, growth, and yield in field-grown green peper exposed to acidic fog and ambient ozone. Plant Physiol. 88: 477-482.

Trumble, J. T. and G. D. Walker. 1991. Acute effects of acidic fog on photosynthetic activity and morphology of *Phaseolus lunatus.* HortScience. 26:1531-1534.

Turunen, M. and S. Huttunen .1990. A review of the response of epicuticular wax of conifer needles to air pollution. J. Environ. Qual.19:35-45.

Unsworth, M. H. and D. P. Ormrod. 1982. Effects of gaseous air pollution in agriculture and horticulture. In p. 72. Butterworth Scientific. England.

Yunfeng, S., Z. Feng, T. Izuta, M. Aoki and T. Totsuka. 1996. The individual and combined effects of ozone and simulated acid rain on growth, gas exchange rate and water-use efficiency of *Pinus armandi* Franch. Environ. Pollut. 91:355-361.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 169-180, 1996

澎湖地區鹽風之農業災害調查
(I)防風體對鹽份及微氣候之影響

蔡 金 池
臺灣省高雄區農業改良場澎湖分場

內 容

摘要……170
英文摘要……170
前言……171
材料與方法……171
結果與討論……172
誌謝……175
引用文獻……180

澎湖地區鹽風之農業災害調查
(I)防風體對鹽份及微氣候之影響

蔡 金 池
臺灣省高雄區農業改良場澎湖分場

摘 要

本文主要探討澎湖地區現有的多層防風林及六種不同材質種類之單層防風體，在東北季風時期對鹽風之防護效果，並了解背風面之風速與鹽份之分布情行，及對甘藷生育之影響。試驗於1995年12月及1996年2月在澎湖馬公及湖西地區之試驗田進行，結果顯示檉柳及蘆竹等多層防風體之防鹽、防風效果優於單層防風體，單層防風體中減低50%之有效防風距離以蘆竹之9m爲最遠，其次爲茅網及木麻黃之7.5m，硓砧石牆之3m爲最短，降低背風面50%鹽份含量之有效距離，以蘆竹及狼尾草之6m爲最長，其次爲茅網及防風網的4.5m，最差爲硓砧石牆。背風面甘藷之生長與風速及鹽份含量成負相關，與溫度及濕度成正相關。

關鍵詞：季節風 防風林 甘藷

Investigation of Agricultural Injury due to Salty Wind in Penghu area. (I)Influence of Windbreaks on Saltiness and Weather

Chin-chih Tsai (Penghu Branch Station of Kaohsing Distridct Agricultural Improvement Station, Pingtung, Taiwan, ROC)

Abstract： The purpose of this paper is to study the effects of multiple row tree windbreaks and single row windbreaks made of 6 tree varieties on the effectiveness of protection from salt air during the northeast tradewinds, and understand the leeward windspeed and saltiness as well as their influence on sweet potato production. Experiments were conducted in research fields of Makung and Huhsi from December 1995 to Feburary 1996. Results revealed that tamarix and bamboo-reeds windbreak with multiple row tree windbreaks provide better protection from wind and salt than single row windbreads. To reduce windspeed by 50% among single row windbreaks,bambooreeds windbreak provides greatest protection (9m), followed by reeds-web and casuarina (7.5m), and least effectiveness is the coralwall (3m). To reduce leeward saltiness by 50% among single row windbreaks, bamboo-reeds windbreak and napiergrass provide greatest protection (6m), followed by web windbreak and reeds-web windbreak (4.5m) and least effectiveness is the coral-wall. Leeward sweet potato production has a negative correlation with windspeed and saltiness, but a possitive correlation with temperature and humidity.

Key words: Tradewinds, Windbreak, Sweet potato.

前 言

澎湖群島由於受地理位置及地形的影響，冬季通過的氣流，不論方向和速度均流暢，年平均風速達6.2m/s，冬季季風最高風速達 27m/s，全年暴風（風速達10m/s）日數達130天，强勁北風又將海浪鹽沫吹向陸地，阻礙植物生長，强風吹襲植株造成枝葉斷裂、葉片破損，不僅影響作物生理上之運作（Martin 1935），更有助於病原菌的侵入（Agnios 1978），使作物生長、產量與品質受到直接及間接的損失。空氣中過多的含鹽量，滲入植株組織內，形成鈉離子爲害（謝 1988），造成葉緣壞疽，植株枯萎，對農作物及防風林同樣造成危害（甘 1964, 孫岩章 1995），防風設施可減低風速及空中鹽沫含量，達到保護作物之目的，如在澎湖地區所得到的試驗數據顯示，防風網之有效防風距離爲網高的17倍，有效防鹽距離爲網高的13倍，透風率6.46%的防風牆之有效防風距離爲牆高6.5倍，有效防鹽距離爲牆高的5 倍,海岸防風林的有效防風距離爲林高的14倍，有效防鹽距離爲林高的 7倍，防風措施除了直接減低風速對植物的直接傷害外，更可提高背風面溫度（Budyko and pogosian 1959, 林 1994），間接提高水溫、葉面溫度（泊功等 1980）及土壤溫度（Van Eimern et al. 1964），在小麥、玉米（Bate 1911）及水稻（泊功等 1980, 內島等 1977, 林等 1994）之防風試驗報告，對促進作物生長具有正面功效，且其防風、防鹽效果皆與防風牆之距離成反比（江 1988）。澎湖因受東北季風之限制，全年有7-8月無法種植作物，不僅無法充份利用土地，且影響農家生計，本試驗採用甘藷植物作指標植物，針對不同防風樹種及防風牆進行防風、防鹽效果評估，作爲延長作物種植時期，及減低季風期的作物生育損失之防護措施探討。

材料與方法

本試驗於民國84年12月及85年 2月，在澎湖馬公及湖西地區進行，以澎湖本地種紅心尾甘藷作爲災害損失之指標植物，測試之防風林之種類、位置與狀況如下：

1. 木麻黃與檉柳防風林：位於澎湖馬公市安宅里高雄場澎湖分場內，木麻黃超過十年生，種植長度爲45m，樹高3.6m，株距2.1m，林帶寬度爲3.5m。檉柳爲三年生，長度爲40m，樹高2.7m，株距1m，林帶寬度4. 5m，林間距7.5m。
2. 防風網與茅網防風體：防風網防風牆由50%透風率防風網架成，兩端及每隔1m以鐵管固定。茅網防風牆則由茅草及防風網編織而成，兩者之長度皆爲30m，高度爲1.5m，於場內人工架設。
3. 蘆竹防風林：多重蘆竹防風牆位於成功水庫南面，水庫引水道東面，種植範圍約1公里之耕作田，林間距爲 10m，林高 3 m、林長50m、林帶寬度0.7m，株距 15-20cm，林間交錯生長，單層蘆竹防風牆位水庫引水道西面，林相與多重蘆竹防風林同。
4. 狼尾草防風體：位湖西鄉，株高1.8m，種植長度50m，種植寬度1m。
5. 硓砧石防風牆：由海底珊瑚礁所堆砌而成，爲澎湖傳統的冬季防風材質，堆砌長度50m，高度1.5m，寬度30 cm。

各防風設施皆與東北季風風向垂直，測定時於設施背面每隔1.5m 的距離爲一測試點，分別於測定點30cm 高度進行風速、鹽風含量、溫度及濕度之測定，並以附近無遮蔽之空曠區之相同距離及高度之測定點作爲對照點。測定風速時，使用TOKYO CAT. NO.24手持式風速計、每次測定時間

爲30秒，每一測定點連續進行10次測試。鹽份測定則選用30x30cm之紗布袋，套在相同大小之鐵架上，於測定點迎風面展開，靜置風中30分鐘，取回室內以1公升蒸餾水浸置1小時，再以超音波振盪器（BRANSON-3200）振盪10分鐘，用Suntex-17A導電計測其讀值。相對風速百分比：（測定點之風速平均值/對照點之平均值）X100%。相對鹽份百分比：（測定點之鹽份讀值/對照點之鹽份讀值）X100%。

結果與討論

由圖1得之，澎湖地區1995年10月至1996年2月間之瞬間、最大風速皆發生在12月，風中含鹽量也以12月爲最高，各防風體於1995年12月及1996年2月之調查結果顯示如下：

一、多層防風林：

檉柳及蘆竹等多層防風林，在1995年12月及1996年2月調查結果顯示，檉柳及蘆竹二處多層防風林之相對透風率（圖2）比單層防風林之透風率爲低（圖3），兩處防風林之背風面9m的水平距離內，相對透風率都不超過25%，尤以蘆竹背風面6m距離內之相對透風率爲零，較檉柳爲優。減少鹽份含量之能力則以檉柳優於蘆竹，可能與蘆竹之樹型較直立，其枝葉末梢易爲鹽沫所附著凝聚而滴落，檉柳叢狀枝的生長樹型，其茂密的針葉對鹽份較具有減阻力，兩者在鹽風防護上各具優點。但蘆竹林道寬度較小，所需土地面積較少。不論蘆竹或檉柳，多層防風林之防鹽及防風效果皆比單排防風林來的好，可能與其林寬未超過40排植林寬度，而具有較佳的防風效果

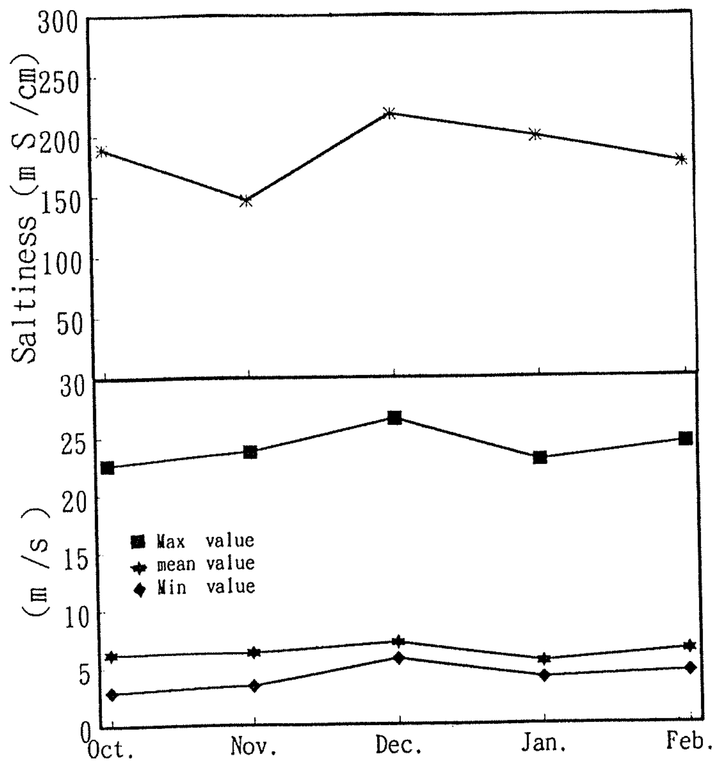


Fig 1. Windspeed and saltiness distribution at Penghu district from 1995 to 1996.

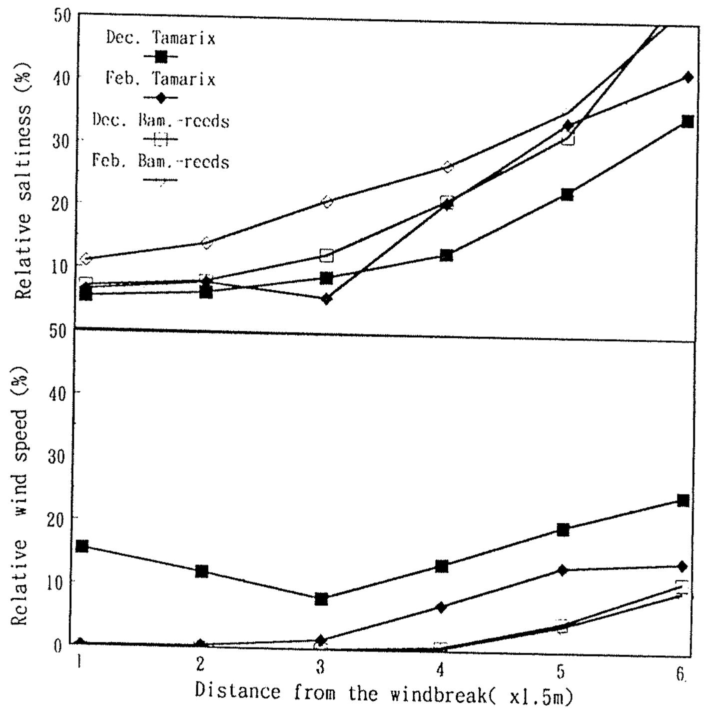


Fig 2. Relative saltiness and relative wind speed with horizontal distribution from the windbreak.

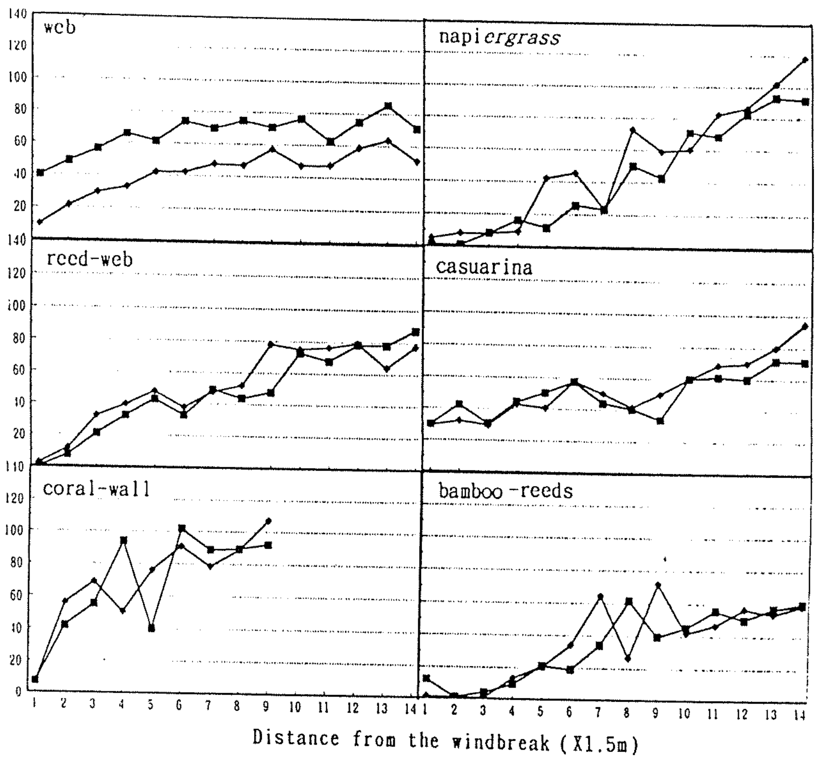


Fig 3. Relative wind speed changes with distances from the varied windbreak.

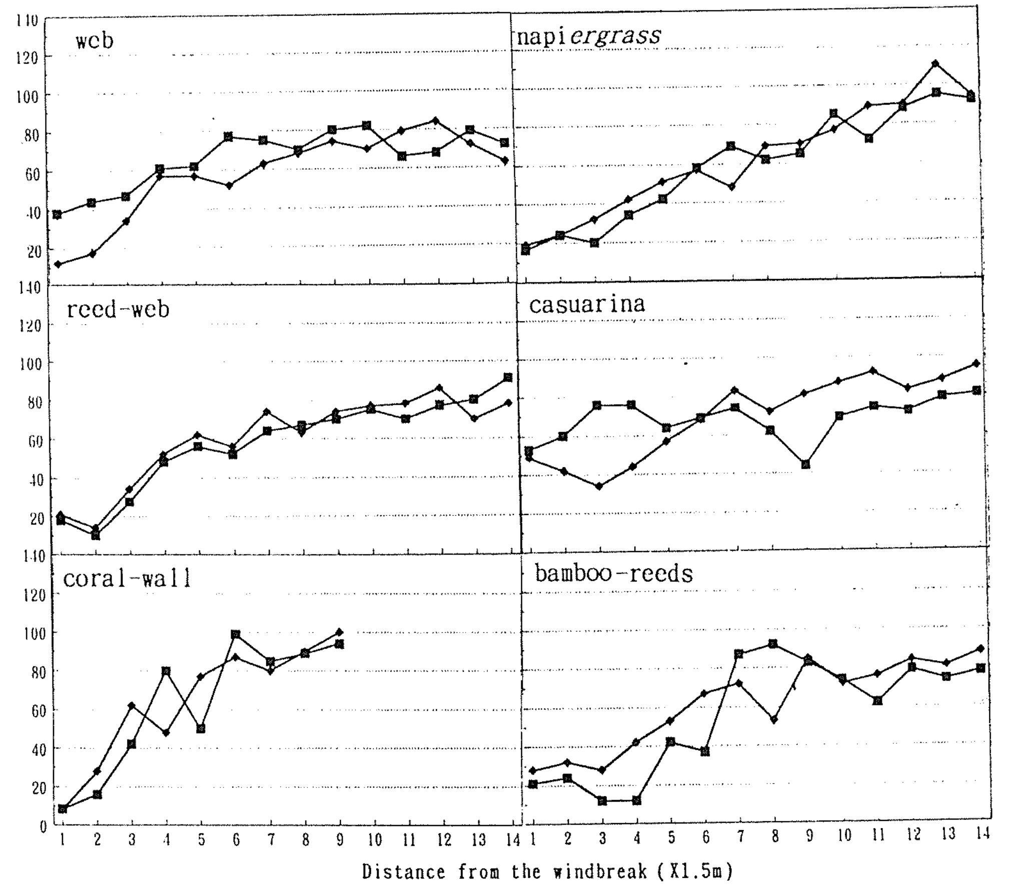


Fig 4. Relative salting changes with distances from the varied windbreak.

有關（游 1982）。

二、單層防風林

1. 50% 防風網：此構造物之通氣性良好，當氣流進行遇到防風網阻擋時，有一部份氣流上升，越過防風網後，氣流方下降，另一部份氣流則通過透風孔隙，與上升之氣流會合，背風面之風速隨著水平距離之增加而緩慢上升（圖3）。防風網之平均透風率在40～80之間，鹽份降低百分率也在20～60之間，其背風面之防護距離各為6m及4.5m。且背風面甘藷存活率、單株鮮莖重皆與風速及鹽份呈負相關（表4），在1995年12月調查時，對甘藷有效防護範圍與風速相同，其範圍內甘藷地上部鮮莖重較背風面6～10.5m者，增加150%，較背風面15m者增加 350%，防風背面每隔1.5m之距離，其存活率與單株鮮重在統計分析上即呈顯著性差異。而在1996年2月調查時，對甘藷有效防護範圍與鹽風之有效防護距離相同，其甘藷地上鮮莖重較背風面6～10.5m者增加256%，超出背風面12m則失去防護作用。
2. 茅網防風體：於50%防風網之受風面增加一層茅草，提高該防風體對風速的阻減力，其背風面12m之水平距離內，較50%防風網之同等距離之相對透風率降低很多，但也造成渦旋風的形成（圖3）。甘藷存活率皆與防風體背風面距離成反比，且各測

定點間皆成顯著性差異（表1），甘藷單株鮮重第一次調查時，背風面4.5m距離內，較6～7.5m處增加135%，第二次調查時則增加500%，並比同距離之防風網增加9.5%（表3）。

3. 硓砧石防風牆：由（圖3）可看出背風面1.5m內的之相對風速在10%以下，在背風面6m時，相對風速即上升達98%，此一特性與咾咕石防風牆之透風率偏低，其背面風速回復較快（江 1988）有關。透風率低的構造物，也易形成渦旋風，當風速較低時，其渦旋風於背風面6m處出現，而在風速較高時，其渦旋風於背風面4.5m處出現，渦旋風出現在背風面之距離與風速成反比，當風速愈大，其防風範圍有縮短的趨勢。此種風速形態強烈反應在甘藷生育之防護效果上，甘藷第一次調查時，背風面10.5m之內的甘藷皆存活，而第二次再進行調查時，僅背風面3m以內之甘藷存活（表1）。在有效防護距離內，單株健葉數僅次高木麻黃防風林。由表4得知，咾咕石防風牆背風面之甘藷生育完全受風速及鹽份所控制，與溫、濕度較無明顯關係。
4. 狼尾草防風林：狼尾草為草本植物，莖葉柔軟，當氣流通過時，易由莖葉末梢緩緩上升，其降低50%風速之水平距離可達11m，風速高時也有6m，降低50%鹽份含量之水平距離則在6-7m之間。但當氣流較為強大時，狼尾草易倒伏，形成風口，不僅失去防風效果，反而加遽植株大面積死亡，其存活率僅高於咾咕石（表1），與溫度成極顯著之正相關（r=1 p=0.0001）（表2），但由於植株間的空間遞補效應，使甘藷單株生長勢較旺盛，在有效防護距離內，單株健葉數僅次於蘆竹防風牆，單株鮮重平均為191公克（表2），為所有單層防風林之首（表3）。
5.木麻黃防風林：木麻黃為多年生針葉植物，枝下高在離地面1.0m以上，1.0m以下之主莖雖有側枝生長，但針葉過於疏鬆，透風率分佈在40～70之間，相對鹽份含量則在50～80之間，高透風率使渦旋風免於背風面出現，但對甘藷之防護僅於避免植株死亡（表1），對植株莖葉不具有保護效果，其葉片數及單株鮮重皆為最低，與保溫效果不高有關（眞木 1979）。
6.蘆竹防風林：蘆竹高大植體雖可防護較長之距離，但依風速之不同，在防風體背風面 10～13.5m間之距離，一樣形成渦旋風，渦旋風與防風牆之間，對甘藷之防護效果較其它防風林為佳，單株葉片數及鮮重皆為單層防風林之首（表2,3），但防風林東北側及西北側各形成風口，影響植株存活，因此；有種植側翼防風林之必要。

綜合以上之結果，得到下列結論：

一、防風林之防護效果比較
1. 多層防風林之防風、防鹽效果，優於單層防風林。
2. 單層防風體中，減低50%風速之防護距離，以蘆竹之9m為最遠，其次為防風網及木麻黃之7.5m，狼尾草為6m，茅網防風體為 4.5m，最低為咾咕石 3m。50%鹽份含量防護距離以蘆竹、狼尾草、木麻黃之6m為最遠，防風網4.5m次之，咾咕石3m最短。

二、防風林防護距離為可動性，隨著風速而改變，風速高時，其防護距離短，反之則長。

三、防風林之透風率是影響背風面渦旋風形成之主因，透風率高之防風林如防風網、木麻黃較不易形成，透風率低之咾咕石則易形成。

四、通透性良好之防風林利於植株存活，但不利於植株生長。甘藷存活、葉片數和單株鮮重皆與鹽份含量及風速成負相關，與溫度及濕度成正相關。

誌　　謝

本試驗研究承蒙行政院農業委員會經會補助，又承國立屏東技術學院徐敎授森雄博士指導與斧正，特此致謝。

Table 1. Effects on survival of sweet potato in December 1995 and February 1996

Year month	Distance from wind-break (X 1.5m)	Windbreak					
		50% web	Reeds -web	Coral -wall	Napier -grass	Casuar -ina	Bamboo -reeds
	1X	93de	100a	95a	93a	94b	100a
	2X	100a	98b	69b	83b	95a	100a
	3X	97ab	97bc	51c	81b	95a	100a
	4X	96bc	96c	30d	74c	87c	100a
	5X	96bc	96c	30d	62d	88c	100a
1995	6X	96bc	94d	30d	52e	83d	87cd
Dec.	7X	94bcd	90e	0e	36f	79e	87cd
	8X	93cde	88f	0e	28g	87c	92b
	9X	93cde	84h	0e	26g	88c	89c
	10X	90ef	86g	0e	22h	80e	88c
	11X	90ef	86g	-	19h	78f	86cd
	12X	88fg	88f	-	15i	75g	84de
	13X	87gh	91e	-	13i	20i	82ef
	14X	84h	84h	-	12i	4h	80f
	1X	91c	100a	91a	89a	93b	100a
	2X	100a	98b	32b	83b	96a	100a
	3X	98a	97c	0c	78c	93b	100a
	4X	94b	95d	0c	73d	87c	98a
1996	5X	94b	95d	0c	59e	83d	77b
	6X	90c	82e	0c	51f	82d	70c
Feb.	7X	89cd	92e	0c	24g	81d	65d
	8X	89cd	80f	0c	12h	80d	54e
	9X	88cd	80f	0c	12h	83d	50f
	10X	88cd	76g	0c	8i	80d	47fg
	11X	87de	77g	-	5j	67e	50f
	12X	84ef	76g	-	3j	62f	45g
	13X	84ef	67g	-	1k	7g	38h
	14X	82f	64i	-	0k	0g	28i

The same litters in a clumn mean insignificant difference at 0.05 level by LSD.

Table 2. Effects on number of leaf of sweet potato in December 1995 and February 1996

Year month	Distance from wind-break (X 1.5m)	Windbreak					
		50% web	Reeds -web	Coral -wall	Napier -grass	Casuar -ina	Bamboo -reeds
	1X	49c	53a	50b	128d	24d	127a
	2X	51b	53a	49c	127d	39c	125a
	3X	52a	52a	52a	136c	55b	126a
	4X	51b	33b	52a	142b	68a	121b
	5X	40d	28b	52a	155a	26d	98c
1995	6X	34e	24b	52a	107e	17f	54g
Dec.	7X	30f	28b	0d	89f	19ef	66f
	8X	26g	27b	0d	62g	21e	76e
	9X	22i	28b	0d	49h	19e	83d
	10X	23h	25b	0d	28i	19ef	66f
	11X	20j	13c	-	25ij	14g	32h
	12X	21i	13c	-	24j	10h	24i
	13X	23h	12c	-	17k	8h	15j
	14X	23h	11c	-	14l	8h	14j
	1X	56b	65a	52a	111d	31b	154a
	2X	64a	64a	49b	125b	34ab	152b
	3X	57b	60a	0c	140a	34a	146c
1996	4X	34c	27b	0c	127b	26c	142d
	5X	27d	26b	0c	119c	23cde	56f
	6X	25d	26b	0c	89e	21e	64e
Feb.	7X	26d	20bc	0c	73f	23de	56f
	8X	21e	15cd	0c	68g	25cd	46g
	9X	22e	15cd	0c	64h	21e	43h
	10X	17f	12d	0c	47i	22de	41i
	11X	18f	11d	-	46i	17f	32j
	12X	16g	12d	-	40j	15f	23k
	13X	17fg	10d	-	16k	5g	19l
	14X	7h	8d	-	0l	0h	15m

The same litters in a clumn mean insignificant difference at 0.05 level by LSD.

Table 3. Effects on fresh weight of sweet potato in December 1995 and February 1996

Year month	distance from wind-break (X 1.5m)	50% web	Reeds -web	Coral -wall	Napier -grass	Casuar -ina	Bamboo -reeds
		Windbreak					
1995 Dec.	1X	89c	101b	98a	128d	64c	94b
	2X	94a	109a	79c	133c	73b	94b
	3X	92b	100c	85b	115e	80a	94a
	4X	84d	47d	59d	153a	49d	90c
	5X	34f	42e	43e	139b	33e	77d
	6X	34g	25g	41f	69f	16gh	37i
	7X	33g	26f	0g	53g	17fgh	43h
	8X	37e	25g	0g	42h	18f	52f
	9X	30i	23h	0g	30i	18fg	57e
	10X	31h	22i	0g	28j	17fgh	48g
	11X	27j	23h	-	27j	15h	34j
	12X	21k	19k	-	28j	16fgh	32k
	13X	20l	21j	-	22k	12i	26l
	14X	15m	12l	-	23k	12i	24m
1996 Feb.	1X	128b	145a	159a	172e	9d	182a
	2X	129a	140b	130b	196c	11b	182a
	3X	112c	130c	0c	274b	12a	176b
	4X	44d	23d	0c	278a	13a	170c
	5X	34e	23d	0c	181d	11c	60d
	6X	32f	21d	0c	131f	8e	49e
	7X	28g	23d	0c	110g	9e	38f
	8X	18h	22d	0c	94h	8f	28g
	9X	17i	21d	0c	86i	7g	26h
	10X	17i	22d	0c	54j	6h	24i
	11X	17i	20d	-	37k	4i	22j
	12X	16j	15e	-	33l	2j	17k
	13X	13k	15e	-	9m	1k	12l
	14X	11l	9f	-	0n	1k	8m

The same litters in a clumn mean insignificant difference at 0.05 level by LSD.

Table 4. The correlation coefficients between agronomic characteristics and climatic factors in December 1995 and February 1996.

imatic	Year Month	Windbreak	Plant sur-vival	Length of node (cm)	Length of leaf (cm)	Width of leaf (cm)	Length of stem (cm)	Number of leaf (Piece)	Fresh weight (g / plant)	Number of branch
			Agronomic characteristics							
Mean of Speed	1995 Dec.	WW	-0. 782***	-0. 864***	-0. 829***	-0. 821***	-0. 895***	-0. 824***	-0. 777**	-0. 835***
		R W	-0. 915***	-0. 972***	-0. 938***	-0. 963***	-0. 955***	-0. 901***	-0. 824***	ns
		L K	-0. 961***	-0. 738*	-0. 839**	-0. 852**	-0. 929***	ns	-0. 862**	-0. 804*
		N W	-0. 946***	-0. 694*	-0. 869***	-0. 832***	-0. 702*	-0. 707**	-0. 810**	-0. 756**
		C W	-0. 729**	-0. 917***	-0. 904***	-0. 913***	-0. 918***	-0. 707**	-0. 793***	-0. 936***
		B. W.	-0. 801**	-0. 821**	-0. 829**	-0. 767*	-0. 838**	-0. 792*	-0. 819**	-0. 818**
	1996 Feb.	WW	-0. 904***	-0. 776**	-0. 791***	-0. 774**	-0. 847***	-0. 767**	-0. 835***	-0. 741**
		R W	-0. 917***	-0. 845***	-0. 919***	-0. 918***	-0. 807***	-0. 864***	-0. 833***	0. 742**
		L K	-0. 862**	-0. 762*	-0. 715*	-0. 715*	-0. 733*	-0. 719*	-0. 757*	-0. 758*
		N W	-0. 913***	-0. 844***	-0. 830***	-0. 824***	-0. 868***	-0. 809**	-0. 761**	-0. 769**
		C W	-0. 904***	-0. 937***	-0. 649**	-0. 633*	-0. 839***	-0. 837***	-0. 907***	-0. 849***
		B. W.	-0. 906***	-0. 919***	-0. 809***	-0. 781***	-0. 782***	-0. 831***	-0. 821***	-0. 928***
Salt	1995 Dec.	WW	ns	-0. 75**	-0. 845***	0. 861***	-0. 626*	-0. 814***	-0. 854***	-0. 582*
		R W	-0. 874***	-0. 929***	-0. 953***	-0. 936***	-0. 964***	-0. 94***	-0. 951***	ns
		L K	-0. 896**	-0. 684*	-0. 818**	-0. 827**	-0. 849**	ns	-0. 827**	-0. 688*
		N W	-0. 971***	-0. 867***	-0. 902***	-0. 937***	-0. 884***	-0. 906***	-0. 901***	-0. 879***
		C W	-0. 557*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		B. W.	-0. 779**	ns	-0. 717**	-0. 734**	-0. 772**	-0. 714**	-0. 784***	-0. 705**
	1996 Feb.	WW	-0. 715**	-0. 905***	-0. 929***	-0. 908***	-0. 936***	-0. 911***	-0. 947***	-0. 841***
		R W	-0. 814***	-0. 941***	-0. 964***	-0. 964***	-0. 889***	-0. 959***	-0. 915***	0. 629*
		L K	-0. 828**	-0. 867**	-0. 857**	-0. 857**	-0. 861**	-0. 858**	-0. 866**	-0. 866**
		N W	-0. 924***	-0. 937***	-0. 917***	-0. 916***	-0. 889***	-0. 913***	-0. 866***	-0. 876***
		C W	-0. 642*	-0. 921***	-0. 732**	-0. 736**	-0. 777**	-0. 818***	-0. 886***	-0. 957***
		B. W.	-0. 933***	-0. 922***	-0. 868***	-0. 848***	-0. 916***	-0. 929***	-0. 923***	-0. 917***
Mean of temper -ature	1995 Dec.	WW	0. 648*	0. 847***	0. 949***	0. 939***	0. 849***	0. 921***	0. 928***	0. 760***
		R W	0. 539*	0. 557*	0. 628*	0. 592*	0. 623*	0. 678**	0. 754**	ns
		L K	ns	0. 912**	0. 813*	0. 791*	0. 746*	0. 932***	0. 789*	0. 882*
		N W	0. 894***	0. 721**	0. 849***	0. 809**	0. 625*	0. 674*	0. 761**	0. 660*
		C W	1. 00 ***	0. 898***	0. 896***	0. 919***	0. 938***	0. 681**	0. 663***	0. 961***
		B. W.	0. 692**	ns	0. 619*	0. 622*	0. 662**	0. . 568*	0. 573*	0. 619*
	1996 Feb.	WW	0. 607*	0. 776***	0. 791***	0. 774***	0. 847***	0. 767**	0. 839***	0. 741**
		R W	0. 655*	0. 839**	0. 906***	0. 907***	0. 822***	0. 857***	0. 839***	ns
		L K	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		N W	1***	0. 781**	0. 757**	0. 776**	0. 760**	0. 717**	0. 637*	0. 627*
		C W	0. 684**	0. 883***	0. 591*	0. 585*	0. 797***	0. 789***	0. 660***	0. 818***
		B. W.	0. 693**	0. 736**	0. 593*	0. 592*	ns	ns	ns	ns
Mean of relatively	1995 Dec.	WW	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		R W	0. 687*	0. 602**	0. 575***	0. 649***	0. 642***	ns	0. 540***	ns
		L K	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		N W	0. 685*	0. 598*	0. 652*	0. 662*	0. 631*	0. 693*	0. 693*	0. 579*
		C W	ns	0. 832***	0. 813***	0. 800***	0. 833***	0. 585*	0. 585*	0. 739**
		B. W.	0. 716**	ns	0. 696**	0. 719**	0. 771**	0. 706**	0. 777**	0. 632*
	1996 Feb.	WW	0. 566*	ns	0. 611*	0. 572*	0. 581*	0. 579*	0. 559*	0. 554*
		R W	0. 694*	0. 510*	ns	ns	ns	ns	0. 534*	ns
		L K	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		N W	0. 653	0. 669*	0. 639*	0. 648*	0. 667*	0. 645*	0. 606*	0. 633*
		C W	0. 776**	0. 858***	0. 844***	0. 824***	0. 845***	0. 839***	0. 868***	0. 769***
		B. W.	0. 574*	ns	0. 573*	ns	0. 545*	ns	0. 585*	0. 712**

1. *：$p<0.05$；**：$p<0.01$；***：$p<0.0001$.　　2. ns：No significant for phenotypic correlations.
3. W.W.：50% Web windbreak. R.W.：Reebs-web windbreak. l.k.：the coral-wall. N.W.：napiergrass windbreak.
C.W.：Casuarina windbreak. B.W.：Bamboo-reeds windbreak.

引用文獻

甘偉航 1964 海岸區域木麻黃類之造林及風害之調查研究(結束報告) 台灣省林業試驗所報告第99號.

江永哲、黃隆明 1988 澎湖海岸防風構造物之探討 (II)防風網、海岸防風林與防風牆之防風防鹽功效比較試驗 農林學報 37(2):21-44.

林孟輝、陳素娥、張學琨、林文龍 1994 東北季風對水稻生育之影響及防風林之防護效果 中華農業氣象1(3):107-114.

孫岩章 1995 臺灣地區空氣污染對植物之影響 植物保護學會會刊 37(2):14 1-158.

游繁結 1982 海岸林帶厚度對林後減風功效之風洞試驗 農林學報 31(1): 99-127.

謝慶芳 1988 指標作物監測空氣污染試驗 臺中區農業改良場特刊第11號. 內島立郎、小高眞一、藤田實 1977 冷害率における防風林帶の水稻生育への效果－昭和51年長沼町の一例 北海道農試研報 44(6):35-40.

泊功、石黑忠之、藤原忠 1980 防風設施による冷害氣象改善に關する研究北海道農試研報 127:31-76.

眞木太一 1979 防風網に關する研究 (1)防風網による水田の昇溫效果 農業氣象 34 (4):165-176.

Bates, C. G. 1911. Windbreaks: Their influence and value. U.S. Department of Agricultue, Forest Service Bulletin 86. Goverment Printing Office, Washington.

Budyko, M. I. and K. P. Pogosian. 1959. Modification of climate in the surface layer of the atmosphere with the amelioration of drought areas. Weekly Weather and Crop Bull. 46(48):7-8.

Martin, E. V. and F. E. Clements. 1935. Studies of the effect of artificial wind on growth and transpiration in Halianthus annuus. Plant Physiol. 10:613-636.

Van Eimern J., R. Karschon, L. A. Razumora. and G. W. Roberton. 1964 Windbreak and Shelterelt.WMO Tech. Note. No.59. WMO No.147 TP.70. 188pp.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 181-190, 1996

檬果園之微氣候調查

張哲瑋[1] 張賢明[2] 趙政男[1] 王惠亮[2]
臺灣省農業試驗所嘉義農業試驗分所[1]、鳳山熱帶園藝試驗分所[2]

內　容

摘要……182
英文摘要……182
前言……183
材料與方法……183
結果……183
討論……188
誌謝……189
引用文獻……189

檬果園之微氣候調查

張哲瑋[1] 張賢明[2] 趙政男[1] 王惠亮[2]
臺灣省農業試驗所嘉義農業試驗分所[1]、鳳山熱帶園藝試驗分所[2]

摘 要

本研究於台南玉井、屏東春日及屏東三地門選取檬果園數處，調查品種前兩處爲”愛文”，後一處爲"在來種"，實測其園中之微氣候，藉以分析探討其與產期適栽性。根據以往調查結果顯示(一)十一、十二月及(二)元月及二月份的低溫是分別影響三地門及春日地區檬果著果率高低的重要因素，由於近兩年之十一、十二月寒流來襲的次數較少，因此三地門地區檬果著果率普遍較好；反之元、二月寒流來襲的可能性較高，所以春日地區檬果著果率也就難以提高。至於玉井試區，由於果農利用摘花技術避過二、三月份的寒流，因此四、五月份雨水的多寡，便成爲著果率高低的重要決定因子，例如民國八十二年四、五月份雨水較少，結果率也就較往年提高很多。

關鍵詞: 檬果，微氣象，著果率。

Investigates on the Microclimate of Mango Orchard

Jer-Way Chang[1], Hsien-Ming Chang[2], Cheng-Nan Chao[1] and Hui-Liang Wang[2]
(Chia-Yi Agriculture Experiment Station, Taiwan Agrilcultural Research Institute, Chai-Yi, Taiwan, ROC[1]; Feng-San Horticultural Experiment Station, Taiwan Agrilcultural Research Institute, Feng-san, Taiwan, ROC[2].)

ABSTRACT: In order to understand the microclimatic factors affecting the produce of mango, the ratio of fruiting has been investigated for two years since 1992 at Yu-Ching of Tainan, and San-Ti-Men and Chun-Jih of Pingtung county. Twenty, ten, and fifteen, years old of mango trees were used in this experiment, respectively. The varieties were 'Irwin' at Yu-Ching and Chun-Jih, 'Native' at San-Ti-Men. The results indicated that cold waves that occurred during November and December should be responsible for low fruiting ratio of mango at San-Ti-Men. Nevertheless, cold waves during January and February should be for Chun-Jih experimental fields. The cold waves devastated flowers and fruits at marble--sized growth stage or younger. At Yu-Ching experimental field, however, cold waves scarcely occurred during mango flowering and fruit-setting season, because farmer took terminal flower off to obtain auxillary flower bud that developed and flowered during April. Heavy rainfalls and/or long rainy periods cause anthracnose and reduce the effectiveness of pollen insects. Rainfalls and rainy periods during April and May might be key factors for producing mango in this field.

Key words: microclimate, mango, fruit set.

前 言

檬果爲本省重要水果之一，全省種植面積有一萬六仟多公頃，以台南縣爲最多（佔49％），屏東縣次之（佔30％），高雄縣亦栽培有二千公頃，而以屏東縣地區栽培產期較其他地區爲早，在來種約在十二月間即有採收，價格亦最高。惟高屏地區之氣候條件對檬果產期及冷峰對檬果之開花授粉之影響，迄今仍缺實測資料可供參考，而本省最大的檬果產區台南縣玉井鄉相關之實測資料亦不多。因此本計畫擬於、台南玉井鄉、高雄三地門、屏東春日鄉地區選取檬果園數處，實測其園中之微氣候，藉以分析探討其與產期之相關性及適栽性。

材料與方法

(一)各試區位置環境如下：

1. 玉井鄉愛文種檬果園：該園爲小山丘，四周高低差約30公尺，面積約2.5公頃，樹齡約20年生，栽植密度約每公頃500株。本園於81年元月上旬設立農業氣象站，觀測項目包括氣象、雨量、風速等。
2. 春日鄉愛文種檬果園：該園爲西南向坡地，平均坡度爲14度，內築有平台階段，果園面積約1公頃，栽植密度約每公頃450株，樹齡約十年生，其氣象資料來源爲同在該地之屏東技術學院，資源保育系設立之農業氣象站。
3. 三地門在來種檬果園，面積約1.2公頃之平地，樹齡約十五年生，栽植密度約每公頃約300株，該試區於81年元月上旬設立農業氣象站，隨即觀測溫、濕度、風速、雨量等資料。本報告分析之資料至82年6月止。

(二)著果情形調查：

1. 玉井試區：在81年開花期於東、南、西、北各坡向，均取大小相若之植株5株，每株取健壯之花穗10穗，合計20株200穗，以後每隔二至三週調查開花、結果、落果之情形。 82年本試驗園因有摘花穗以誘引第二次花的栽培作業，故試驗株均開兩次花，在每次開花期於東、西、南、北各坡向，取大小相若之植株5株，每次取健壯之花穗5穗，合計200穗，調查項目與81年相同。
2. 春日及三地門試區：開花期在果園內選取樹型相似之植株14株，每株依東、南、西、北四方向各選2～3穗掛牌，每隔一週，掛牌一次，約經一個月，開始調查開花、結果及落果情形。

結 果

(一).81及82年各試驗區重要氣象資料分別如表一及表二。

(二).著果情形

1. 玉井地區

81年於2月27日後陸續抽穗，3月16日正式掛牌調查，重要之著果情形調查如表三所示。結果率四月中旬爲88%，至5月下旬僅剩46%，各坡向以南向最高，北向最低。82年第一次花於1月8日掛牌調查，第二次花於82年4月12日掛牌調查，著果情形如表四、表五、表六所示。第一次花的結果率5.3%明顯低於第二次花57%，各坡向的結果率亦以南向最高，北向最低。

2. 春日地區

81年於1月7日掛牌調查，每株檬果各方向之結果率如表七，顯示1月上旬開花者結果率較低而二月下旬開花者結果率較

高。82年於12月31日起掛牌調查,著果率如表八，各開花期結果率均偏低，僅2月上旬開花者結果率達20%。

3. 三地門地區

於80年12月3日開始掛牌調查，每株檬果各方向之結果率如表九，各開花期結果率均偏低，最高僅10%。82年自11月11日起掛牌調查，每株檬果各方向之結果率如表十，除11月上旬及12月下旬開花者在40% 左右，其餘各開花期結果率約60%左右，均顯較上年度爲高。

表一、八十一年度各試區果園氣象資料一覽表

Table 1. Weather elements on experimental field in 1992

月份	氣溫(平均)℃			低於15℃日數			降雨日數		
	玉井	三地門	春日	玉井	三地門	春日	玉井	三地門	春日
1	15.8	15.8	19.2	16	19	15	7	7	7
2	16.2	18.2	19.8	11	12	7	10	9	7
3	21.8	22.0	24.4	4	2	1	8	7	5
4	20.5	23.7	24.4	3	0	0	12	13	15
5	26.7	27.1	24.8	0	0	0	9	14	8
6	28.0	29.1	26.2	0	0	0	8	15	10

表二、八十二年度各試區果園氣象資料一覽表

Table 2. Weather elements on experimental field in 1993

月份	氣溫(平均)℃			最低溫度低於15℃日數			降雨日數		
	玉井	三地門	春日	玉井	三地門	春日	玉井	三地門	春日
92'.11	20.0	24.0	21.3	6	0	2	-	2	5
12	18.6	21.2	20.7	14	2	1	1	4	1
93'.01	16.5	15.5	17.3	17	17	12	3	9	2
02	18.7	19.0	17.0	22	0	2	4	2	1
03	20.7	20.9	18.2	9	0	-	4	6	-
04	23.5	24.5	18.2	0	0	-	7	7	-
05	26.1			0			5		
06	27.4			0			12		
07	28.2			0			8		

表二（續）

Table 2. (continued)

月份	雨量mm			風速 m／sec		
	玉井	三地門	春日	玉井	三地門	春日
92'.11	-	1.3	14.4	-	1.92	1.59
12	14.0	10.5	1.6	1.31	2.20	1.35
93'.01	9.0	35.0	17.2	1.74	1.74	1.55
02	6.0	2.0	8.8	1.50	1.68	1.88
03	31.5	32.7	-	1.17	0.98	1.80
04	40.0	7.0	-	1.55	1.10	1.54
05	243.5			1.43		
06	341.5			1.42		
07	124.5			1.49		

表三、八十一年度玉井愛文試區果園著果情形一覽表

Table 3. Fruit branch number and percentage of fruit branch at Ju-Ching experimental field in 1992

調查日期	東坡	西坡	南坡	北坡	合 計
	x y				
92'0417	39 (19.5)	35(17.5)	45(22.5)	37(18.5)	156(88.0)
0504	35 (17.5)	31(15.5)	38(19.0)	33(16.5)	137(68.5)
0529	25 (12.5)	19(9.5)	30(15.0)	18(9.0)	92(46.0)

註：x 結果枝條數

y 結果枝條百分比

表四、八十二年度玉井愛文試區果園著果情形一覽表

Table 4. Panicle number and percentage of fruit branch at Ju-Ching experimental field in 1993

掛牌日期	東坡	西坡	南坡	北坡	合計
	x y				
93'.01.18	12 (0)	15(6.7)	21(14.3)	22(0)	70(5.3)
04.12	25(64)	25(64)	25(52)	25(48)	100(57)

註：x：掛牌數

y：結果枝條百分率

表五、八十二年度玉井試區第一次掛牌著果調查結果一覽表

Table 5. Panicle number and percentage of fruit branch at first bloom at Ju-Ching experimental field in 1993

調查日期	東坡	西坡	南坡	北坡	合 計
	x y				
93'. 02. 15	12 (100)	15(100)	21(100)	22(100)	70(100)
03. 01	12(100)	15(100)	21(95. 2)	22(100)	70(98. 8)
03. 15	12(100)	15(100)	21(95. 2)	22(100)	70(98. 8)
03. 30	12(8. 3)	15(66. 7)	21(28. 6)	22(63. 6)	70(41. 8)
04. 12	12(8. 3)	15(40)	21(23. 8)	22(27. 3)	70(22. 8)
04. 27	12(8. 3)	15(20)	21(23. 8)	22(9. 1)	70(15. 3)
05. 11	12(8. 3)	15(20)	21(23. 8)	22(4. 6)	70(14. 2)
05. 25	12(8. 3)	15(20)	21(23. 8)	22(4. 6)	70(14. 2)
06. 08	12(0)	15(20)	21(23. 8)	22(4. 6)	70(12. 1)
06. 21	12(0)	15(20)	21(14. 3)	22(0)	70(8. 6)
07. 06	12(0)	15(6. 7)	21(14. 3)	22(0)	70(5. 7)

註：x：掛牌數
y：結果枝條百分率

表六、八十二年度玉井試區第二次掛牌著果調查結果一覽表

Table 6. Panicle number and percentage of fruit branch at second bloom at Ju-Ching experimental field in 1993

調查日期	東坡	西坡	南坡	北坡	合計
	x y				
93'. 04. 27	25 (100)	25(100)	25(96)	25(92)	100(97)
05. 11	25(92)	25(92)	25(84)	25(92)	100(90)
05. 25	25(72)	25(64)	21(72)	25(64)	100(68)
06. 08	25(64)	25(64)	21(72)	25(60)	100(65)
06. 21	25(64)	25(64)	21(68)	25(56)	100(63)
07. 06	25(64)	25(64)	21(52)	25(48)	100(57)
07. 20	25(64)	25(64)	21(52)	25(48)	100(57)
08. 07	25(64)	25(64)	21(52)	25(48)	100(57)

註：x：掛牌數
y：結果枝條百分率

表七、八十一年度春日愛文檬果園各方向平均著果率一覽表

Table 7. Panicle number and percentage of fruit branch at Chun-Jih experimental field in 1992

方向 掛牌日期	東 向	西 向	南 向	北 向	合計
	x y				
92'. 01. 07	10 (20)	15(30)	16(25)	7(20)	48(31. 6)
01. 15	10 (25)	18(50)	15(40)	12(30)	55(48. 3)
01. 29	8 (25)	20(40)	15(50)	7(25)	50(46. 7)
02. 19	10 (30)	20(50)	17(50)	9(30)	56(53. 3)

註：x：掛牌數
y：結果枝條百分率

表八、八十二年度春日愛文芒果園各方向平均著果率一覽表

Table 8. Fruit number and percentage of fruiting at Chun-Jih experimental field in 1993

掛牌日期	東向	西向	南向	北向	合 計
	x y				
81. 12. 31	20(10)	16(9)	21(7)	15(5)	72(8)
82. 01. 07	13(9)	8(6)	23(7)	11(5)	55(14)
82. 01. 14	11(13)	12(2)	12(6)	13(5)	48(7)
82. 01. 20	11(7)	7(10)	6(11)	8(12)	32(10)
82. 01. 29	3(9)	6(17)	5(15)	3(9)	17(13)
82. 02. 04	5(12)	2(32)	4(19)	7(11)	18(19)

註：x：果實直徑至小指大小時的結果數
y：果實直徑至姆指大小時的平均結果率

表九、八十一年度三地門在來種檬果園各方向平均著果率一覽表

Table 9. Fruit number and percentage of fruit-set at San-Ti-Men experimental field in 1992

方向 掛牌日期	東 向	西 向	南 向	北 向	合計
	x y				
91'. 12. 03	5 (10)	8(20)	6(25)	4(5)	23(15)
91'. 12. 10	3 (20)	7(10)	5(40)	3(5)	18(18. 8)
91'. 12. 18	4 (10)	8(15)	7(50)	1(0)	20(18. 8)
91'. 12. 30	6 (15)	6(30)	6(50)	3(5)	21(25. 0)
92'. 01. 07	2 (20)	7(30)	4(50)	2(10)	15(27. 5)

註：x 平均結果數
y 平均著果率(%)

表十、八十二年度三地門在來種檬果園各方向平均著率一覽表

Table 10. Fruit number and percentage of fruit-set at San-Ti-Men experimental field in 1993

掛牌日期	東向	西向	南向	北向	合 計
	x y				
92'. 11. 11	8(45)	7(64)	5(66)	6(51)	26(55)
11. 19	6(67)	6(58)	3(68)	6(71)	21(66)
11. 26	6(59)	4(47)	3(91)	12(28)	25(46)
12. 03	5(62)	4(61)	5(70)	4(65)	18(65)
12. 10	5(76)	6(47)	3(56)	6(58)	20(59)
12. 17	7(58)	3(63)	7(53)	3(52)	20(56)
12. 24	3(47)	3(48)	5(34)	3(34)	14(40)

註：x：果實直徑至小指大小時的結果數
　　y：果實直徑至姆指大小時的平均結果率

討　　論

檬果減產的原因，一般研究認爲不外乎花期低溫之寒害，霪雨所導致的落花落果，其中以低溫被研就的最多，例如曾夢蛟氏(1983)的研究指出，當外界溫度低於15℃時，花粉管在柱頭上則不發芽，而國外YOUNG 氏更早在1955年即有類似的報告。低溫通常也被認爲是造成本省產量偏低的主因。歐錫坤氏(1983)在玉井所做的實驗，北坡向無子果的發生率爲南坡向的7.23倍，他認爲北坡向溫度較低，可能是造成此一差異的主要原因。徐森雄氏(1978, 1979)於玉井試區的實驗調查，在不同花期中之結果粒數，開花較早者較多，後期者普遍減少；在不同高度來看，山頂上結果粒數較多，山腰次之，谷間最少；就不同坡向而言，以西南向者結果粒數較多；開花前期、谷間、非西南坡向氣溫較低是造成這些差異的主要原因。然就玉井試區而言，從各次調查的結果與氣象資料推斷，該區產量偏低是否爲低溫因素所造成，則頗有商確之處，以81年試驗結果而言，若以15℃當作危害檬果著果的低溫指標，在調查期間僅有5天當日最低溫低於15℃，反觀降雨日數，各月份多且平均(表一)，其中四及五月份共降21天的雨，另就結果率來看，該區從四月中旬很平穩地每二至三周下降20%(表三)，由於下雨會會導致檬果最主要病害--炭疽病的蔓延，果農在防治時常因無法完全而造成若干損失，此從現場落果上的病斑亦可看出，因此綜合上述的分析可知影響該年度結果率的主要因素是雨水而非低溫。至於82年度試驗 結果顯示第一次花的結果率明顯低於第二次花，從各次調查的結果與氣象資料推斷，82年一至四月降雨日數不到20天，而低於15℃的日數竟高達48天，且各坡向的結果率亦以南向最高，北向最低，因此低溫應是導致第一次花結果率低的主要因子，然值得注意的是該區之結果率在三月份由98.8%遽降至41.8% (表五)，如此高達50%的落果率故是低溫所危害，然在三月底仍有的41.8 %，何以到七月初僅剩5.7%，因在三月以後並無低溫的出現(表二)，此若參照果農的管理作業，即可明瞭，由於果農把栽培重點擺在第二次花，第一次花較疏於管理，因此造成病虫危害孳生，尤以果實長至小指大小前受到炭疽病的危害而導致嚴重落果，更使著果率在不到一個月內降至15.3% 。於第二次花的著果情形，本年度著果率爲57％(表六)，其中 5月11日至 5月25日間，著果率由90％下降至68％．受害率達22％，對照該段期間果實生長情形，5月25日調查時果實生長平均爲4.5公分左右，由於此段期間並無低於15℃的低溫出現，亦無長時間降雨，因此這段期間的落果，可能主要是授粉不良與果實彼此間的營養競爭所造成，而似與氣象無多大關係，至於五月下旬及六月上旬豪雨似對結果情形無太大的影響，可能是因試區爲一山丘，排水良好所致；若將本年度氣象資料與去年度相比．可歸納出兩年資料主要的差異在下雨日數，去年總計四、五月份下雨日數達21天(表一)，本年度四、五月份僅12天(表二)，且五月份的 5 天分佈在五月末，因此結小果時較乾旱是造成本年度結果率高於去年的原因。

春日試區影響檬果產量的氣象因素則與玉井試區完全不同，由於該區花期及著果期爲十二月及/或元月此在南部爲乾旱期(表一、二)，因此低溫是主要的影響因素，此兩年花期愈晚者氣溫愈溫暖，所以調查結果均呈現花期愈晚者著果率愈高的趨勢(表七、八)。

至於三地門試區影響檬果產量的氣象因素則與春日試區相似，由於該區花期及著果期爲十一月及/或十二月此在南部爲乾旱期(表二)，因此低溫亦是主要的影響因素，所不同的是花期愈早者氣溫愈溫暖，所以花期較早者著果率較高，尤其是進入冬季的前後，差異更爲顯著，是以八十二年度花期僅較八十一年度早一個月，但結果率卻高出30%(表九、十)。

綜合從玉井、春日、三地門之氣象資料及植株著果之初步調查結果顯示，元月份及二月份多次寒流是造成春日及三地門果率偏低的主要原因 ，至於玉井試區由於果農利用摘花技術避過二、三月份的寒流，因此四、五月份雨水的多寡，便成爲著果率高低的重要決定因子。

本省芒果栽植面積已達一萬九千多公頃，大部份分佈在玉井、南化幾個鄉鎮。這些地區果農摘花及病蟲害防治技術己日益成熟，只要花期至結小果期氣候較乾旱，加上栽培技術不斷改進，因結果率提高伴隨產量的繼續增加爲勢所必然．如何運用氣象資訊及產地調查未雨綢繆，防止滯銷，值得有關單位深思。

誌　　謝

試驗期間承 國立屏東技術學院徐教授森雄博士指導，特表謝忱。

引用文獻

徐森雄 1978 玉井地區山坡地冬季之微氣候(第一報)中華水土保持學報 9(1) p151-160

徐森雄 1979 玉井地區山坡地冬季之微氣候(第二報)中華水土保持學報 10(1) p171-179

徐森雄、宋義達 1987 從氣象資料估算蒸發量 中華水土保持學報 18(2):p83-89

張鏡湖 1989 農業氣象的目的和內容 氣象研討會專輯 p1-10

曾文炳 1989 我國農業氣象發展之現況與展望 氣象研討會專輯p95-112

譚金盛 1989 氣象資料預測作物灌溉需水量 氣象研討會專輯p113-126

邱垂錫譯 1978 農業氣象學 徐氏基金會 PP.

沈鵬 1979 生物環境小氣候學 徐氏基金會 PP.

歐錫坤 1983 愛文檬果花期與無子果生成之關係研究 中國園藝29(4):269-278

曾夢蛟、張武男 1983 溫度對檬果花粉管在花柱內生長之影響興大園藝 8:19-22

許仁宏 1983 檬果腋花穗之誘引 中華農業研究 32(1) p32-38

YOUNG 1955 Inflence of temperature on growth of manggo pollen Florida Sta

Hort. Soci(1-3):309-313
SHU Z.H.and SHEEN T.F. 1987 Floral induction if axillary buds of mango (Mangilfera indiica L.) as affected by temperature. Scientia Horticulturae 31: 81-87.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 191-202, 1996

臺灣西南部地區潛在蒸發散量之估算與應用

申 雍 黃學文
國立中興大學土壤環境科學系

內 容

摘要……192
英文摘要……192
前言……193
材料與方法……194
結果與討論……195
引用文獻……201

臺灣西南部地區潛在蒸發散量之估算與應用

申 雍 黃學文
國立中興大學土壤環境科學系

摘 要

地表蒸發散量的多寡，攸關地區水資源的規劃與利用。本研究先利用地理統計技術估算台灣西南部地區氣溫與日射量的空間分佈，再以Jensen-Haise法估算本地區潛在蒸發散量的空間分佈。由潛在蒸發散量的空間分佈資料，可進一步推估當地不同期作水稻的田間蒸發散量。研究結果顯示，本地區內水稻之田間蒸發散量，一、二期作分別約為320至440mm與500至580mm，且皆呈由南到北漸減之趨勢，可作為區內各農田水利會擬定轄區內灌溉計畫之參考。利用潛在蒸發散量的空間分佈資料以及當地土壤可利用水分和有效降雨資料，亦可評估旱季時區內土壤的乾旱程度，研究結果顯示，若無灌溉設施，區內以嘉南平原地區發生嚴重乾旱的機率最高，其次為雲林地區與台中盆地附近，彰化地區則最低。

關鍵詞：潛在蒸發散量，土壤乾旱度，水資源

Estimation and Application of Potential Evapotranspiration in Southwest Region of Taiwan

Yuan Shen and Shyue Wen Huang (Department of Soil and Environment Science, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC)

ABSTRACT：Amount of evapotranspiration from ground is of great concern to water resources management and planning. Spatial distribution of air temperature and solar radiation were first determined using geostatistical techniques. Potential evapotranspiration was then determined accordingly using Jensen-Haise method. The determined potential evapotranspiration was then used to estimate field evapotranspiration from rice paddy field. The evapotranspiration of the 1st and 2nd crop of rice in the region were 320 to 440 mm and 500 to 580 mm, respectively. These values are useful to local irrigation associations when making irrigation plans. Soil droughtiness during dry season were also evaluated in conjunction with available soil water and effective rainfall in the region. Results indicated that if there were no irrigation facilities, the probability of very drought was highest in Chia-Nan Plain, followed by Yuinlin Plain and Taichung Basin. The Changhua region had least chance of occurring.

Key words：Potential evapotranspiration, Soil droughtiness, Water resources.

前 言

土壤與水面之蒸發和植物的蒸散作用，是將液態水轉為氣態水而散失的重要機制。因此，凡有關水資源管理與運用等方面之規劃，必須將地表之蒸發散量列為重要的考量因子之一。但地表之蒸發散量受微氣象、植被、土壤等多項因子的綜合影響，一般對大範圍地區較長期間內蒸發散量之估算，常需先求出該地區於植被充分覆蓋、土壤水分供應充足情況下，受氣象條件影響的潛在蒸發散量（Potential evapotranspiration) (Penman，1949）。

利用氣象觀測資料估算地表潛在蒸發散量的方法可分為下列幾大類(Rosenberg et al.，1983)：(1)以氣溫為基礎之方程式：如Thornthwait 法、Blaney-Criddle 法、Hargreaves 法、Linacre 法；(2)以日射及氣溫為基礎之方程式：如 Makkink法、Jensen-Haise 法、Solar Thermal Unit法；(3)應用多種氣象因子之混合法：如 Penman 法、Monteith-Penman法、Van Bavel法、Slatyer-McIlroy法、Priestley-Taylor 法。此外，在氣候潮濕地區，蒸發皿之蒸發量與潛在蒸發散量間具有近似1比1的密切關係（Brutsaert，1984）。

在台灣地區邱（1977）曾指出由於Thornthwait 法僅以氣溫決定蒸發散量，因此用於大區域的推算時會產生相當大的誤差，尤其是在山地地區。徐與宋（1987）則以簡化後的Penman 公式利用台灣地區七個氣象觀測站收集之氣象資料，分別估算各測站當地的月蒸發散量。施與黃（1989）利用 Thornthwaite 法、Blaney-Criddle 法、蒸發皿法與Penman 法來估算學甲地區玉米的需水量，並比較這些估算式的適用性，發現蒸發皿法與Penman 法所得之結果較Thornthwaite 法或Blaney-Criddle 法為佳。但是，陳（1991）以各種作物需水估算模式推估嘉義地區的作物需水量時指出，雖然以Penman 法推估之盆面蒸發散量與實測值間有較好之相關性，但由於所需的觀測項目多，在應用上較為複雜，而Jensen－Haise 法雖相關性稍低，但方程式較簡易，實用性也較高。

應用氣象觀測資料估算區域之潛在蒸發散量時，還需考量所使用氣象測站資料的代表性。申與黃(1996)研究結果指出，即使在本省西南部地區的平原地形上，各氣象測站觀測之項目中，除氣溫與日射量有較廣的適用範圍外，其餘如濕度、風速、蒸發量等適用範圍均侷限在測站附近。因此若欲採蒸發皿法估算較大區域之潛在蒸發散量，需普設測站其結果才具代表性，但相對地所需之人力與設備費用也愈可觀，益形增加其困難性。若採用由多項氣象因子估算之混合法，如Penman 法或相關之修正法等，除需要風速、濕度等觀測值外，還需要淨輻射量與土壤熱流之測值，但此二項並非一般氣象觀測站之觀測項目，需由日射量或日照時間來推估，因此若以混合法估算大區域之蒸發散量，其準確性實有待確認。

在計算灌溉需水量時，潛在蒸發散量可用於其中有關作物蒸發散量之估算。本省目前每年可用的水資源（水庫、河川、地下水），約有192億立方公尺，而農業灌溉用水使用了120億立方公尺，其中又以水稻灌溉用水為主（黃，1992）。在台灣水資源不足應用之際，農業是否真需要如此鉅量的灌溉用水，已成為其他用水標的事業的質疑之一。目前台灣農田灌溉所需水量，係由各地區農田水利會依據式(1)估算（張與蔡，1985）。

灌溉需水量＝秧田、整田用水量＋田間蒸發散量＋田間滲漏量－有效雨量＋輸水損失 (1)

其中

田間蒸發散量＝潛在蒸發散量×作物係數 (2)

目前各農田水利會所使用之水稻田間蒸發散量皆依每期作600～700公厘進行估算（張與蔡，1985）。由於潛在蒸發散量受氣象環

境影響很大，因此有必要依據歷年氣象資料確實估算各灌區的潛在蒸發散量，並進而推估作物之田間蒸發散量。在作物係數方面，張與蔡（1985）與雜作灌溉手冊（1980）中列有水稻與多類旱作全生長期的作物係數。

潛在蒸發散量亦可用於土壤乾旱度的評估，而土壤乾旱度則可用於土地能限分類（Land capability classification）與乾旱機率之估算（Thomasson，1979）。Hall（1977）指出土壤的乾旱度可由土層有效水分(A)與每月潛在蒸發散量和有效降雨量間的差值（MD)，依式(3)進行評估，

$$\text{土壤乾旱度} = A - \sum_{i=1}^{N} MDi \qquad (3)$$

其中N為作物的總生育月數。依土壤乾旱度數值之範圍可分為無乾旱（>50 mm）、輕度乾旱（0～50 mm）、中度乾旱（-50～0 mm）與嚴重乾旱（<-50 mm）四等級。土層有效水分係指土層中界於田間容水量與凋萎點間的水分含量，由土壤之質地、構造與根系分布深度而決定（張與蔡，1985）。徐（1967）曾對本省各主要土類定出其有效水分的重量百分率。至於根系分布的深度方面，台灣由於以往多年種植水稻之緣故，在20～30公分處常有犁底層之存在，限制水稻或旱作根系之伸展，若無犁底層之限制，旱作根系分佈之深度常可達1m或更深（蔡，1990）。有效降雨則指降雨中可進入土壤中之部分，因地形、作物類別、土壤入滲速率及原有水分含量、降雨強度與持續時間、栽培作物類別、田埂的高度等有所不同。

由於水稻係本區內種植的主要作物，所使用的灌溉水也最多，因此本研究擬依據區域內各農田水利會之灌溉區評估一、二期作水稻之田間蒸發散量，以供計算灌溉需水量時使用。再者，在當今水資源日益缺乏時，瞭解區內何處最易受乾旱影響，則有其實用上之重要性，因此本研究亦將評估區內各地土壤之乾旱度與發生嚴重乾旱之機率。

材料與方法

本研究之區域，北自大安溪、南迄二仁溪，含括台中縣、彰化縣、雲林縣、嘉義縣及台南縣等。除北端有八卦、大度台地外，全區平均海拔高度不超過50公尺，為由東南往西漸傾，且沒有特殊起伏地形的平原地型。研究中所用氣象資料取自央氣象局1990至1994年氣候資料年報（第一部份，地面資料）中的月平均值，選取的測站包括中央氣象局直屬氣象站－梧棲（46777）、台中（46749）、嘉義（46748），和設於農業試驗單位的一級農業氣象站－農試所（G2F82）、畜產試驗所（B2N89），及由糖研所維護之台糖公司農業氣象站－新營試驗場（52O30）、糖試所（52N11），與嘉南農田水利會學甲旱作灌溉研究中心（12O57）等8站(圖1)。

在估算區內潛在蒸發散量之空間分布前，先以式(4)（Jensen and Haise，1963）求出所選用測站之盆面蒸發量（ETpan）與氣溫（Ta）和日射量（Rs）間的關係，其中學甲測站（12O57）因蒸發量資料不全，故未列入分析。

$$ETpan = Rs\,(a + b \times Ta) \qquad (4)$$

式中之參數a、b則以SAS（Statistical Analysis System，V. 6.03）之非線性迴歸分析程序（PROC NLIN）得出。再利用地理統計軟體（GS＋，Professional Version 2.11，Gamma Design Software）之Block－Kriging方法計算區內各年每月氣溫與日射量於2 km×2km網格下的空間分布值。然後依估算之氣溫與日射量，由式(4)分別求出各網格位置的潛在蒸發散量值。其中，台中(46749)測站之氣溫值可能因都市熱島效應而偏高（申與黃，1996），因此在估算氣溫之空間分布時，並不予以取用。

水稻的田間蒸發散量則分一、二期作，以下述方法估算。雖然水稻的全生育期依

期作與地區而有不同（曾等，1984），研究中將水稻之全生育期簡化為四個月，一期作由3月至6月，二期作由7月至10月，而各期作水稻在不同生育階段的作物係數則引用張與蔡（1985）之資料；由於研究中對於潛在蒸發散量之估算係以月為計算單位，因此再以水稻各生育階段在當月中的天數為權重，估算各月的作物係數。由各月之潛在蒸發散量乘以當月的作物係數，即可得當月水稻之田間蒸發散量，將每期四個月的蒸發散量累加，即得該期水稻田的總蒸發散量。並以地理資訊系統軟體（MapInfo, MapInfo Corporation）依各農田水利會所轄灌區之分布位置（台灣區農田水利會聯合會，1994），統計各農田水利會所轄灌區各期水稻之總蒸發散量。

計算區內各地土壤乾旱度時，土層的有效水分（A，mm）依台灣主要土類之分布區域（謝與王，1991）以式(5)計算：

$$A = \text{重量含水率} \times \text{總體密度} \times \text{土層厚度} \qquad (5)$$

各土類之土壤有效重量含水率取自徐(1967)。由於本省土壤之總體密度主要介於1.2～1.4 g/cm^3間（曾，1981），為求簡化均以1.3 g/cm^3來計算。土層厚度則取用20cm與1m兩種，分別代表犁底層是否去除情形下的土壤乾旱度。每月雨量之空間分布則取用區內所有雨量測站（340站，平均密度10km^2）之測值，利用地理統計軟體GS＋進行2km×2km網格之分析；而有效雨量則以月降雨量之60％計，但月之最大有效雨量，則依所用土層之厚度為1m或20cm而限制為180mm或90mm。雖在旱季時水分可從地下水層在土壤內向上移動，但在本研究中因顧及區內的地下水位深度變動情形不明；以及區內土壤主要屬沖積土，土壤水分在垂直方向移運的程度，易受土壤剖面質地不均一之影響而減少等因素，因此暫不考慮地下水位補注對土壤乾旱度的影響。

由於台灣西南部地區之旱季約從每年之10月開始，至次年5月梅雨季前結束，但2～3月間亦有獲得短暫春雨的可能，因此研究中再分別計算每年10月至次年1月，和10月至次年4月的土壤乾旱度，以區別春雨對各地土壤乾旱程度之影響。

結果與討論

各測站利用氣溫與日射量以式(4)估算盆面蒸發量時，所使用的參數a、b與決定係數列於表1。由表1可知除糖研所(52N11)與農試所（G2F82）兩站外，其餘各站之決定係數都相當高，顯示以Jensen-Haise 法可

Table 1. Parameter values and determing coefficients when using Jensen-Haise type equations to compute monthly-pan evaporation for selected stations.

Station Location	Station Code	a	b	R^2
Chiayi	46748	0.2021	0.0100	0.961
Taichung	46749	0.2140	0.0122	0.940
Wuchi	46777	0.3993	0.0110	0.830
Tainan	52N11	0.4823	0.0014	0.733
Huuwoei	52O30	0.3260	0.0062	0.863
Shinhuah	B2N89	0.2044	0.0086	0.935
Wuhfeng	G2F82	0.2721	0.0121	0.760
All Stations		0.3011	0.0084	0.730

以有效的估算盆面蒸發散量。由於此法僅利用氣溫與日射量兩因子，並未考慮其他可能影響蒸發量的因素，如濕度、風速等的效應，因此各站間a與b參數值並不相同。若取表1中各站之參數a、b與 Jensen and Haise（1963）於美國西部乾旱地區所得之a、b值（0.08，0.025）相比較，本省各測站之參數a的值較高，參數b的值較低，此可能由於本省空氣中濕度高，盆面的飽和蒸發壓差變小，導致日射能量對盆面蒸發量的影響相對提高，因而研究區內之盆面蒸發散量亦可視爲當地之潛在蒸發散量。在研究中爲簡化式(4)中參數a、b之使用，則將區內7站之資料一同代入，以SAS（Statistical Analysis System，V. 6.03）求出其a、b值，亦列於表1。

區內以地理統計方法估算各地日射量空間分布之準確性，可由檢驗於各測站位置日射量之估算值與實測值得知(圖2)。本研究以地理統計法得到之日射量估算值與實測值間差值的標準偏差爲1.64MJ day^{-1}，若代入式(4)約可造成潛在蒸發散量之估算發生0.2 mm day^{-1}之誤差，佔區內平均每日3 mm day^{-1}蒸發量之6%而已，顯示本研究所用之地理統計方法，對區內各地日射量估算之準確性，已足供計算該地區潛在蒸發散量之用。圖3則爲由式(4)估算區內每2km×2km網格之潛在蒸發量後，所得區內各地潛在蒸發量於冬季和夏季時典型的空間分布。由圖中可知潛在蒸發散量的空間分布，則約略呈現帶狀之分布，此與區內因地形平坦，日射量之分布依餘弦定律原理應大略與緯度平行的推論相符（Gates，1962）。此外，冬季時因氣溫與日射量均低於夏季，因此估算所得之各地潛在蒸發散量冬季比夏季低；但夏季時，潛在蒸發散量在嘉義和臺南地區的分佈，則顯現由東向西遞減的現象。

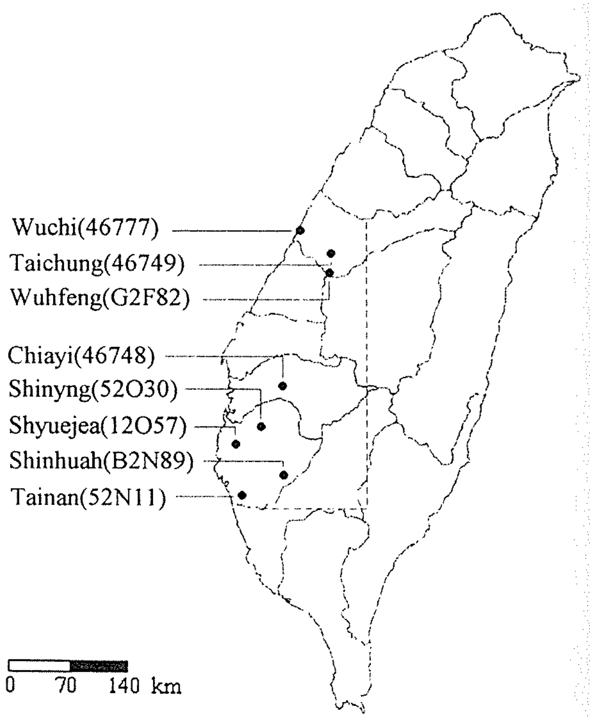


Figure 1. Spatial distribution of weather stations selected in this study.

台中、彰化、雲林、嘉南等四個農田水利會所轄灌溉區內，一、二期作水稻田每期平均蒸發散量之空間分布，分別示於圖4。由圖可知，區內一期作的田間蒸發散量約界於320至440 mm間，二期作則界於500至580 mm間，而兩期作水稻之蒸發散量皆呈現由南至北漸減之趨勢。但本研究所推估之每期水稻的蒸發散量，較早期所推算區內水稻一、二期作的蒸發散量分別界於840～950 mm與740～830 mm之間(張與蔡，1985)爲低，造成此大差異的原因，仍有待究明。

依各農田水利會所轄灌區之位置，將所得水稻蒸發散量的空間分布值予以積分計算，可得該轄區內所有農田皆種植水稻時的總田間蒸發散量值，列於表2。圖5則顯示區內各地點一、二期水稻五年間最大蒸發散量的分布情形，其與平均總蒸發散量間的差值，

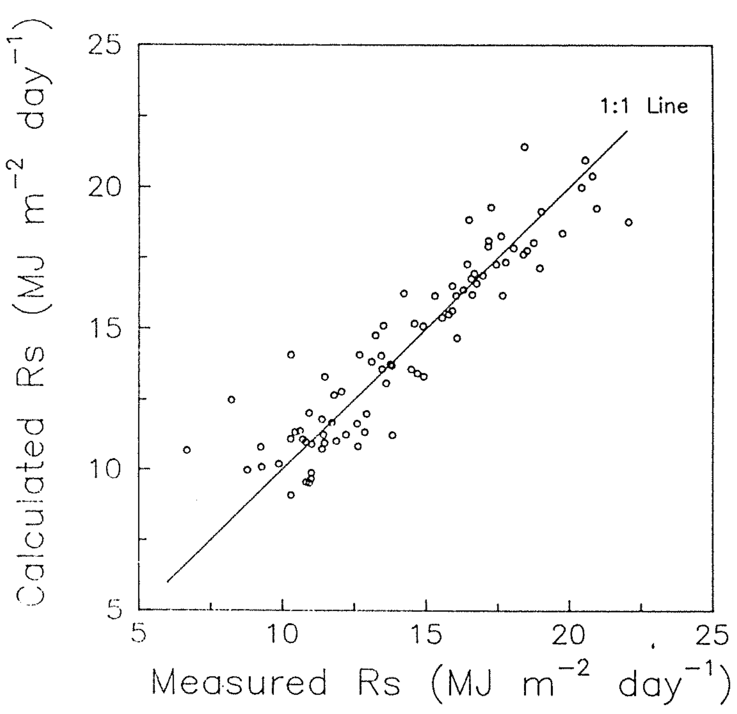


Figure 2. Comparisons between estimated and measured solar radiation.

Table 2. Estimated total evapotranspiration (G m^3) of first and second crop of rice from the juristic area of the four Agricultural Irrigation Association (AIA) in the study area during 1990-1994.

AIA	Irrigated Area (ha)	First Crop		Second Crop	
		AVG	MAX	AVG	MAX
Taichung	31202	0.8	0.9	1.2	1.3
Changhua	47119	1.1	1.2	1.5	1.7
Yuinlin	61088	2.0	2.0	2.7	3.0
Chia-Nan	78113	2.2	2.4	2.9	3.3

在研究區域之南端約爲70mm，北端則約爲40mm，此可能與區內南北兩端所接受日射量之差異有關。各農田水利會所轄灌區若全部種植水稻，最大之田間總蒸發散量值亦列於表2。表2中之數值可供進行水資源規劃時使用。

依據1990～1994的氣象資料計算，旱季間研究區內各地土壤乾旱度平均值的空間分布情形示於圖6與圖7，圖6A顯示若犁底層未打破，根系的伸展深度受限制，只能利用20cm內土壤中所儲存的水分，由10月到次年1月，全區都將達嚴重乾旱之等級；

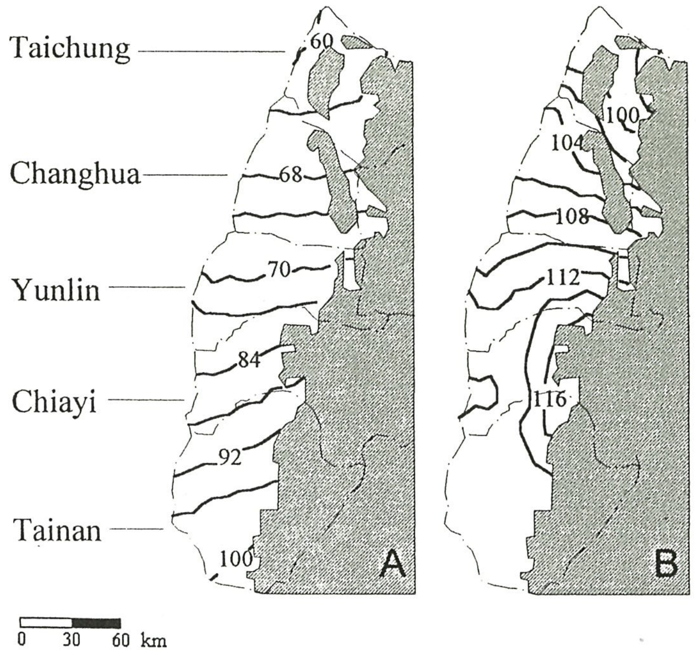


Figure 3. Typical spatial distribution of calculated monthly pan evaporation using Jensen-Haise equation and kriginged air temperature and solar radiation at winter (A) and summer (B) season.

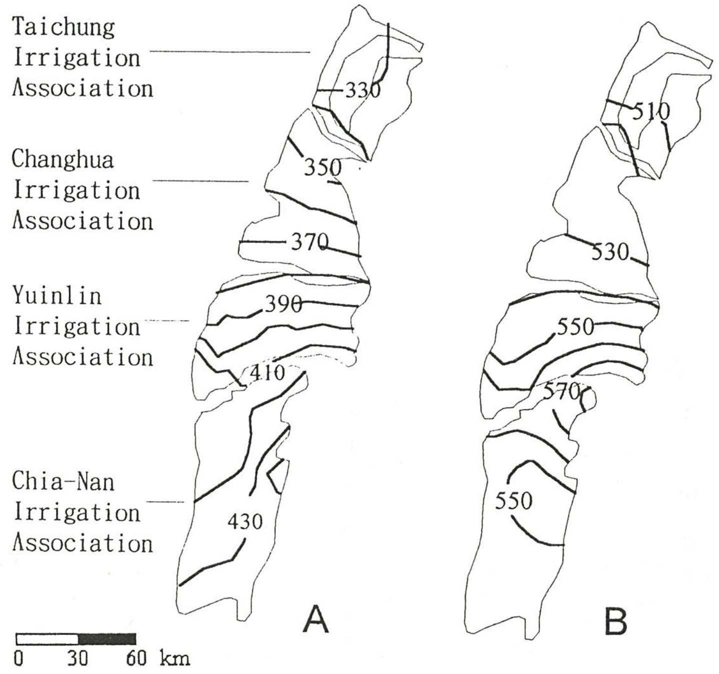


Figure 4. Spatial distribution of 5-year averaged total evapotranspiration for first (A) and second (B) crop of paddy rice during 1990-1994.

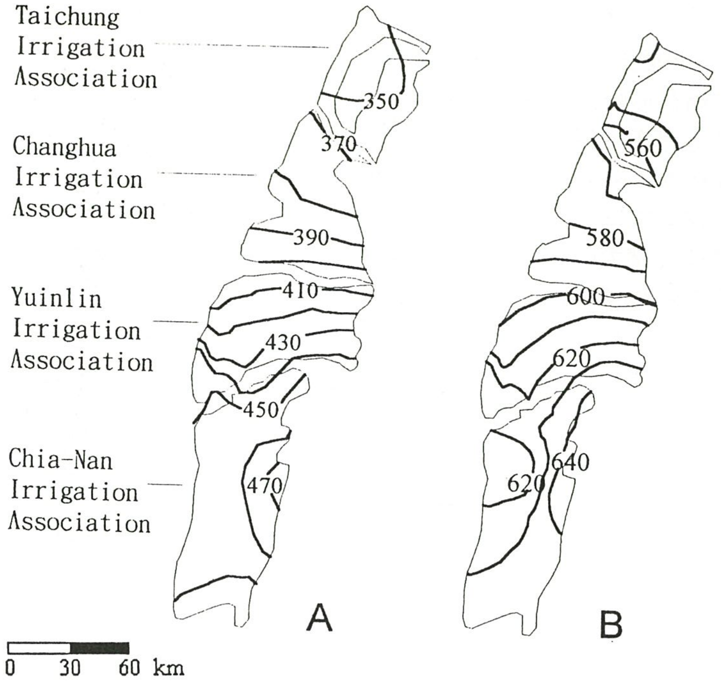


Figure 5. Spatial distribution of maximum total evapotranspiration for first (A) and second (B) crop of paddy rice during 1990-1994.

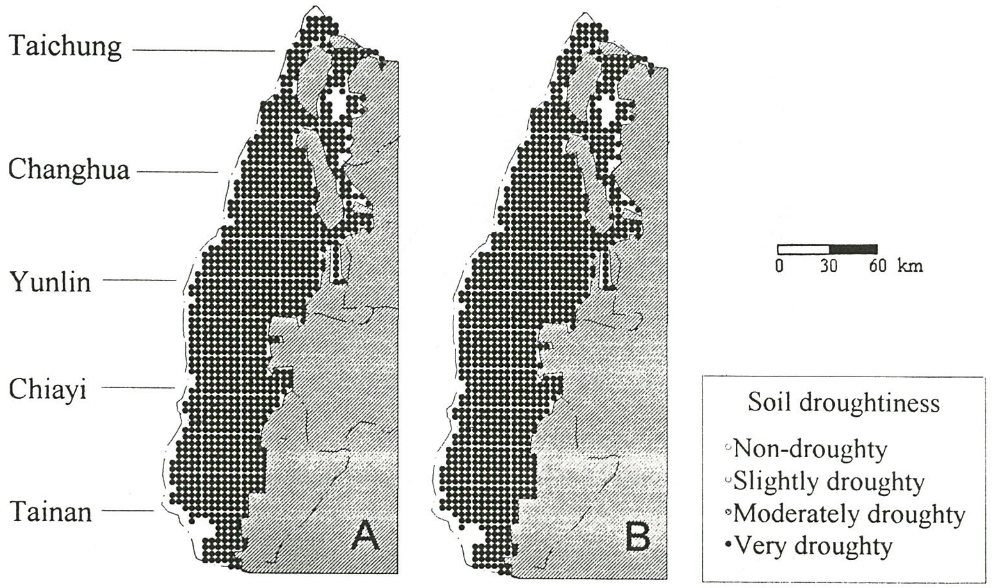


Figure 6. Spatial distribution of averaged soil droughtness for soils having effective depth of 20cm for period from October to next January (A) or next April (B).

即使加上2～3月間可能有的春雨，全區仍屬嚴重乾旱的等級（圖5 B），因此必須配合灌溉系統才可能種植作物。若土層厚度深，作物可以利用儲存於較深土壤中的水分，則區內除台中盆地週圍與研究區之南半部仍屬於嚴重乾旱等級外，研究區北半部之土壤乾旱度僅達中度乾旱的程度，在局部地區甚或不會有乾旱發生（圖7），表示在這些區域若能打破耕地之犁底層，使根系得以充分伸展，並種植能耐受短期乾旱之作物，即使不採行灌溉措施，仍可以得到相當之收成。

就各地發生嚴重乾旱的機率而言，圖8顯示即使將犁底層打破，使根系能充分伸展，但若無灌溉設施，嘉南平原地區發生嚴重乾旱危害的機率很高，其次為雲林地區與台中盆地附近，而彰化地區發生嚴重乾旱之機率最低。雖然目前嘉南地區灌溉設施已相當完備，但有關之灌溉制度仍以水稻為主，若擬種植旱作，則作物之種類與種植時期，需配合水利會的配水時間，否則需自覓可靠水源（張與蔡，1985），且近年每逢旱年，嘉南地區之水稻田常需休耕，以節約水源供其他標的事業使用，若日後雲林離島工業區完成後，區內水源之供應必定更加吃緊。因此，若擬在嘉南、雲林地區進行農業改良之投資，所選擇作物的耐旱程度與灌溉水源能否穩定供應，都是需審慎評估之項目。

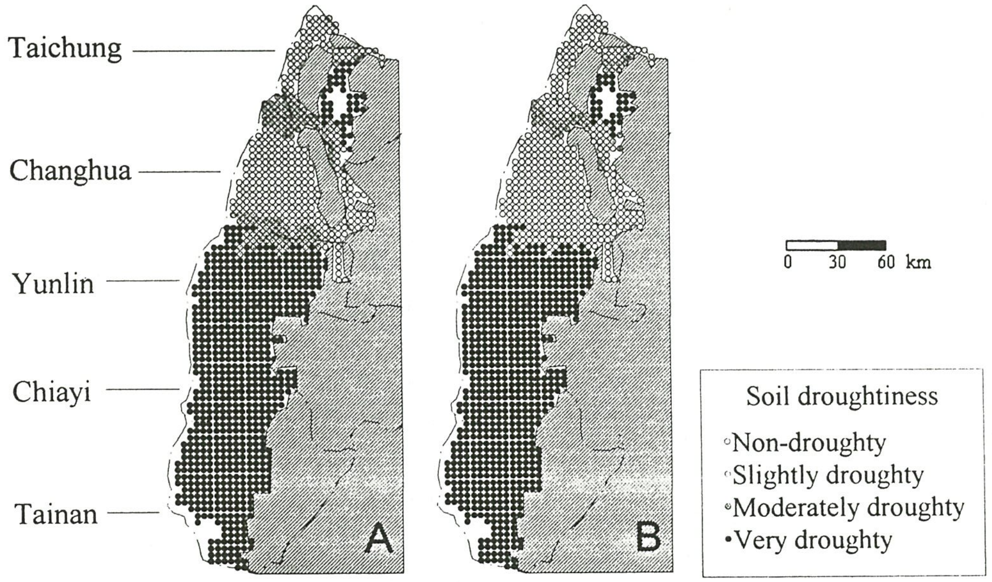


Figure 7. Spatial distribution of averaged soil droughtness for soils having effective depth of 1m for period from October to next January (A) or next April (B).

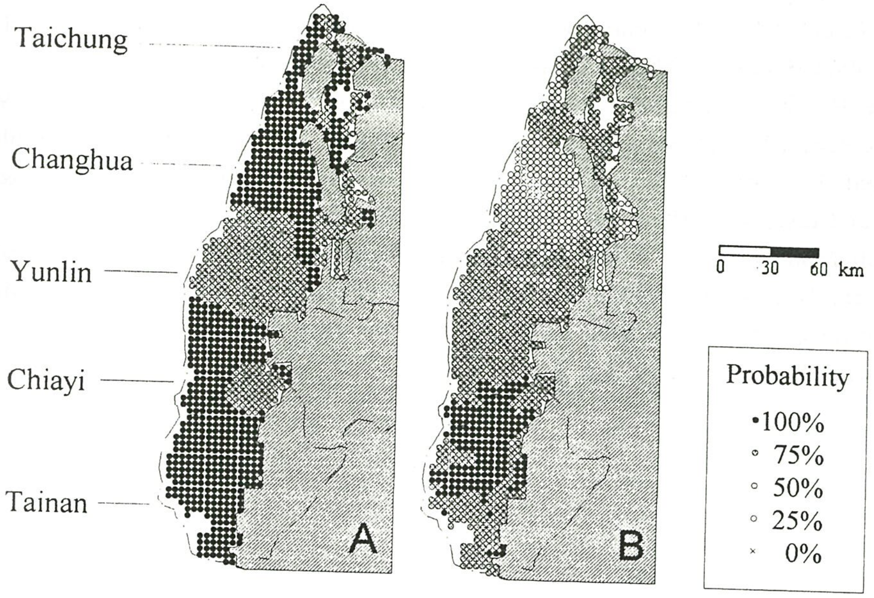


Figure 8. Spatial distribution of probabilities of having severe soil droughtness for soils having effective depth of 1m from October to next January (A) or next April (B).

引用文獻

申雍、黃學文。1996。臺灣西南部地區氣象資料有效範圍之檢驗。中華農業氣象 3：(印刷中)。

台灣省農田水利會聯合會。1994。台灣區農田水利會八十二年度資料輯。

邱永和。1977。區域蒸散量估算問題：以台灣西南地區為例。氣象學報 23：35-42。

施嘉昌、黃振昌。1989。從氣象因子估算玉米需水量之研究。台灣地區農業氣象資源應用研討會專輯。p127-140。中央氣象局。

徐森雄、宋義達。1987。從氣象資料估算蒸發量。中華水土保持學報 18：83-89。

徐玉標。1967。土壤物理性質對土壤水分常數之相關性研究。農工學報 13：7-25。

張建勛、蔡明華。1985。灌溉與排水。中國土木水利工程學會。

陳清田。1991。嘉義地區作物需水量推估之研究。中國農業工程學報 37: 82-109。

曾文柄、朱鈞、郭文鑠、楊之遠。1984。台灣地區農業氣候資源應用之研究。中央氣象局。

曾國珍。1981。還原電位和總體密度對水稻根系分布與產量的影響。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。

黃金山。1992。台灣農業經營的轉變及用水的調整。農業用水管理研討會論文集。p 77-89。中國農業工程學會。

蔡東耀。1990。深層翻土改良土壤排水和壓實的效果。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。

謝兆申、王明果。1991。台灣地區主要土類圖輯。國立中興大學土壤調查試驗中心。

雜作灌溉手冊。1980。台灣省水利局。

Brutsaert, W. 1984. Evaporation into the at-

mosphere-Theory, History, and Applications. D. Reidel Publishing Company.
Gates, D. M. 1962. Energy Exchange in the Biosphere. Harper & Row, New York.
Hall, D. G. M., Reeve, M. J., Thomasson, A. J. and Wright, V. F. 1977. Water retention, porosity and density of field soils. Soil Surv. Tech. Monogr. No. 9.
Jensen, M. E. and H. R. Haise. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. J. Irrig. Drainage Div. ASCE 89:15-41.
Penman, H. L. 1949. The dependence of transpiration on weather and soil conditions. J. Soil Sci. 1:74-89.
Rosenberg, N. J., B. L. Blad. and S. B. Verma. 1983. Micro-climate: The biological environment. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc.
Thomasson, A. J. 1979. Assessment of Soil Droughtiness. Soil Surv. Tech. Monogr. No. 13. p 43-50.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯　203-207, 1996

降雨量對小白菜產量損害率探討

林　文　助
臺灣省臺南區農業改良場

內　容

摘要……204
英文摘要……204
前言……204
材料與方法……205
結果與討論……205
引用文獻……207

降雨量對小白菜產量損害率探討

林 文 助

臺灣省臺南區農業改良場

摘 要

小白菜之生長受不同環境因子影響，1993年7月至1995年6月在台南本場利用不同播種期試驗結果發現，降雨量之多寡對小白菜之產量損害成正比相關。以全期無降雨爲標準區與有降雨之種植期之損失率比較，在83年度(1993年7月～1994年6月生育日25天)，降雨量17mm、46mm、83.5mm、112mm及156.5mm之損害率分別是25.3%、34.3%、60.4%、80.4%及82.5%；在84年度(1994年7月～1995年6月生育日28天)，降雨量45.5mm、88.5 mm、215mm、及257mm之損害率分別是15.4%、60.1%、52.8%及63.9%。

關鍵詞：小白菜、產量、損害率、降雨量

Studies of Rainfall on the Yield and Percentage of Damage of Pak-chio

Wen-Juh Lin (Tainan District Agicultural Improvement Station, Tainan, Taiwan, ROC)

ABSTRACT: The growth of pak-chio is obviouly affected by the environmental factors. Experiments of the sequential planting date, conducted at the Tainan District Agicultural Improvement Station between July 1993 and June 1995, revealed that the amount of railfall is positively correlated to the yield loss of pak-chio. Rainfall of 17.0; 46.0; 83.5; 112.0; and 156.5mm in 25days after sowing reduced the yield by 25.3; 34.3; 60.4; 80.6; and 82.5%, respectively.In another trial with 45.5; 88.5; 215.0; and 257.0mm of rainfall in 28 days after sowing resulted in the yield loss of 15.4; 60.1; 52.8; and 63.9%, respectively.

Key words: Pak-choi, Yield, Percentage of damage, Rainfall.

前 言

台灣每年遭受梅雨或颱風挾帶豪雨對農作物所造成災害，已是屢見不鮮，一但災害發生，政府相關單位及人員，甚至各新聞媒體皆竭盡所能，以最快速限查報受害範圍、程度等。查報工作有賴查報人員個人的常年工作經驗估計受害面積及損失率，唯目前對各種作物受災損失程度評估尙缺乏較科學實驗數據。因作物種類多，受災情況複雜，有關資料必須彙整成冊，供災情報告人員應用。依據1993～1994探討氣象因子對夏季葉菜生育之影響結果，發現降雨量之多寡對小白菜之生產，確實有密切關係。

材料與方法

本試驗以小白菜爲材料，採用鳳山及本地改良種白菜二品種。並應用設立於台南市本場二級農業氣象站設備(北緯2259‘,東經12012‘,海拔14.5 m)，蒐集相關氣象資料。在本場於夏季期間分兩個年度實施，第一年於(1993年7、8、9、10月及1994年5、6月)每月播種一次，並於播種後第25日採收調查，第二年於(1994年7、8、9、10月及1995年5、6月)同樣每月播種一次，並於播種後，第28日採收調查。調查每畦1平方公尺之鮮重。田間設計採逢機區集設計，二品種、四重複、共八畦，每畦面積1.2x5.0 m，週邊設保護行。試區面積約一公畝。每畦撒播種子量10公克，發芽後14日行間拔工作，使株距維持在10～15公分左右。每公畝施用堆肥150kg，過磷酸鈣4.5kg，及氯化鉀1kg當基肥，並於發芽後每週以尿素作追肥施，用三次(第一次0.5kg；第二次1.5kg；第三次1kg)。並隨時注意灌水，保持土壤適當水分，並防積水。

結果與討論

夏季(5月至10月)小白菜之栽培，依據兩年鮮重產量調查結果顯示，83年度(1993年7月～1994年6月，播種後第25日採收)以10月播種者爲最高2.26kg m^{-2}、其次9月1.69kg m^{-2}、5月1.49kg m^{-2}、6月0.44kg m^{-2}、8月0.40kg m^{-2}的順位排列之。在84年度(1994年7月～1995年6月，播種後第28日採收)仍是以10月播種者爲最高，2.49kg m^{-2}，其次依序爲9月2.10kg m^{-2}，6月1.17kg m^{-2}，5月0.99kg m-2，7月0.90kg m^{-2}(表1)。其變化與相關氣候條件有關，因10月天氣變化較少，生產量較爲穩定。由各種的氣象因子觀之，影響小白菜產量的氣象因素中以降雨量最爲密切，降雨量愈少則產量愈高(圖1)。依據本試驗的結果以產量最高天氣變化較少無雨的10月爲基準，就雨量之多寡對小白菜產量之影響所造成之損失率爲生長達25天時，累積雨量17mm可造成25.3%之損失，46mm 時爲34.3%，83.5mm時爲60.4%，112mm時爲80.4%，156.5mm時爲82.5%。生長達28天時因降雨而造成之損失率：降雨45.5mm時損失率15.4%，215mm損失率爲52.8% (1954年6月)，88.5mm損失率60.1% (1995年5月)257 mm損失63.9% (圖1)。由此可知，小白菜生育雖是需水量極强作物，但只要灌溉得宜，不見得一定要降雨，降雨無日照反而減低產量。由於白菜之生長尙受到氣溫及日照之影響(翁，1994)，翁(1994)在玻璃溫室，林等(1995)在田間栽培之結果均顯示鳳山白菜之生長適溫在25℃附近，氣溫過高或過低均不利於其生長，由表1可知，本研究均在26℃以上之高溫下進行，結果也顯示氣溫愈高則產量愈低，至於日射量對小白菜生育之影響，從表1雖可看出每天日照時數以6.5小時左右者最佳，唯翁(1994)指出，在氣溫相同日子，高日射有利於白菜之生長，唯通常氣溫常隨日射量增加而升高，高溫對白菜生長之生長抑制常凌駕於高日射其生長之促進效果。如楊氏在高屏地區之調查得知，露地栽培之小白菜，若積水達12小時以上，則植株腐損率達60%。以上皆足以顯示降雨或積水對小白菜之生育有極大影響。例如1993年9月播種者，降雨量雖然僅17 mm，卻造成25.3%之損失，主要受氣溫太高(29.6℃)之影響，另1995年5月播種者雖然降雨量只88.5 mm損失率卻達 60.1%，反比6月播種者降雨量215 mm之損失率52.8%嚴重，其可能因受5月每天日照時數只有5.5小時比6月份7.4小時少所致，此外從表1可看出，在高溫季節之降雨量也較高，所以本研究中降雨量對白菜產量之影響尙參雜有日射及氣溫之因素，爲了確切釐清降雨量氣溫及日射三者對小白菜生育之確切影響，有必要添加在10月～4月這段低溫少雨期間之產量資料。

Table 1. Investigation of the fresh weight and agrometeorology factors.

Time	Yeild (kg m^{-2})			Air temperation	Sunshine duration	Rainfall	Rainfall intensity
	Feng-Shun	Improvement	Mean	(℃)	(hr)	(mm)	(mm/hr)
Jul. '93	1.08	0.17	0.90c*	29.3	202.2	83.5	30.5
Aug.	0.38	0.42	0.40d	30.3	208.2	156.5	33.5
Sep.	1.76	1.63	1.69b	29.6	188.4	17.0	6.5
Oct.	2.29	2.24	2.26a	27.4	170.9	0	0
May. '94	1.52	1.46	1.49b	30.5	175.0	46.0	15.0
Jun.	0.45	0.43	0.40d	31.0	150.9	112.0	19.0
Jul. '94	0.93	0.86	0.90d**	30.4	166.9	257.0	56.0
Aug.	-	-	-	27.2	110.5	1656.0	156.0
Sep.	2.12	2.09	2.10b	28.7	197.3	45.5	15.5
Oct.	2.64	2.34	2.49a	26.1	182.9	0	0
May. '95	1.06	0.93	0.99cd	28.1	154.9	88.5	18.0
Jun.	1.22	1.13	1.17c	29.6	207.2	215.0	18.5

*；25 days；** 28 days；The same litters in a column mean insignificant difference at 0.05 level by LSD.

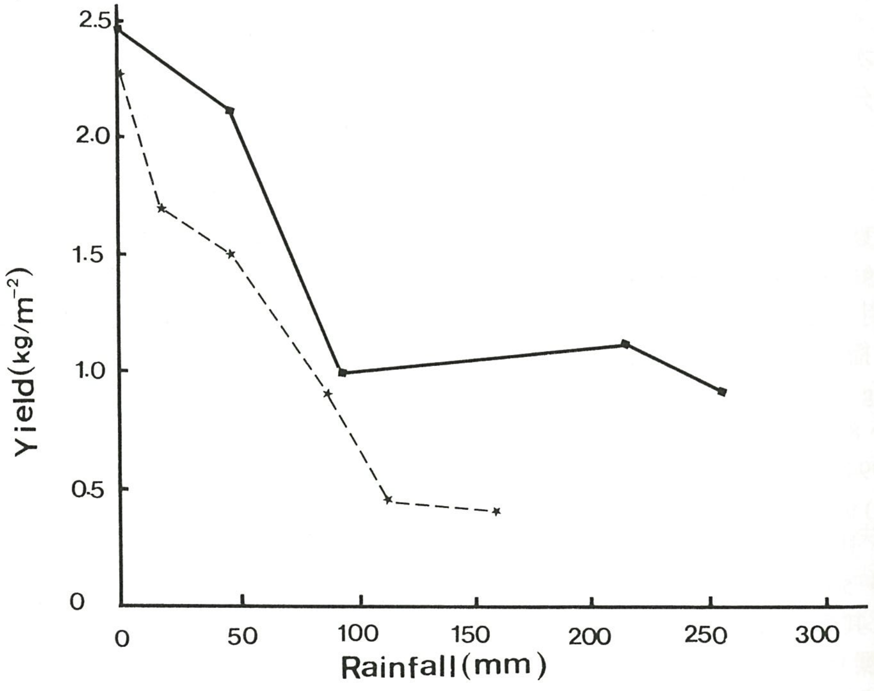


Fig 1. Effect of the rainfall on the yield of Pak-choi.

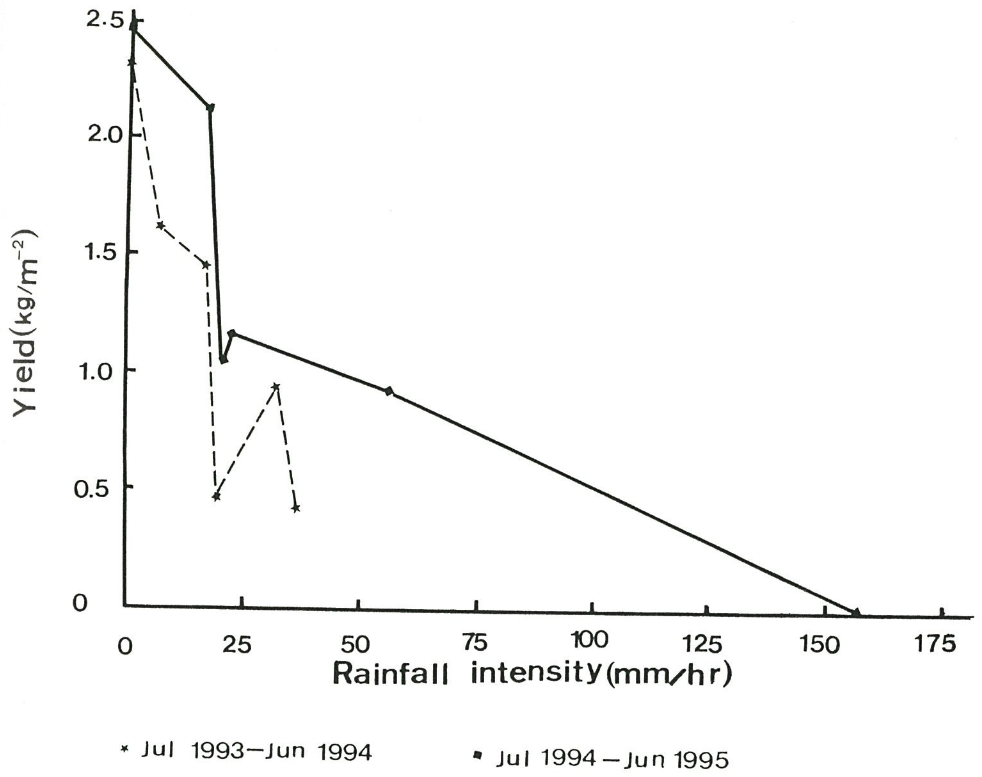


Fig 2. Effect of rainfall intensity on the yield of Pak-choi.

引用文獻

林孟輝、許苑培、張學琨 1995 氣象因子對桃園地區小白菜生育之影響 中華農業氣象 2:121-128

楊紹榮 1995 穴盤苗用於夏季短期葉菜之促成栽培 興農315期: pp.79～80

翁仁憲 1994 農業氣象之研究法。pp.41-60.楊純民等編著，中華農業氣象學會。

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 209-224, 1996

不同設施栽培對葉菜類蔬菜生產之影響

蔡金川[1] 漆匡時[1] 姚銘輝[1] 劉慧瑛[1] 梁連勝[1] 劉復誠[2] 李炳和[2]
臺灣省農業試驗所[1] 交通部中央氣象局[2]

內容

摘要……210
英文摘要……210
前言……211
材料與方法……211
結果與討論……216
引用文獻……223

不同設施栽培對葉菜類蔬菜生產之影響

蔡金川[1] 漆匡時[1] 姚銘輝[1] 劉慧瑛[1] 梁連勝[1] 劉復誠[2] 李炳和[2]
臺灣省農業試驗所[1] 交通部中央氣象局[2]

摘　要

為瞭解西螺地區蔬菜生產之防雨及防寒設施內環境對於葉菜類蔬菜(小白菜、莧菜、菠菜)鮮重產量、相關生理性狀品質及營養成份(可溶固形物、水溶性醣、粗蛋白質、不溶固形物、維生素C及礦物質)之影響。由試驗結果得知，小白菜與莧菜除夏季(5.6.7.8.9月)之外，其他春(3.4月)、秋(10.11月)、冬(12.1.2月)季或整年(四季平均)溫室栽培之鮮重產量最高，其次是網室，最低為露地，整年而言露地栽培之鮮重產量與網室及溫室呈現顯著性差異。菠菜之生產秋冬季皆為網室栽培之鮮重產量最高，其次為露地，最低是溫室。有關收穫期之生理性狀，在不同環境(露地、網室、溫室)栽培的小白菜及莧菜(夏季除外)的株高大小順序與鮮重產量相一致。這三種葉菜類蔬菜(小白菜、莧菜、菠菜)在不同栽培環境收穫期之有關生理性狀(株高、葉數、葉面積)之大小順序與鮮重產量頗為一致(小白菜之株數除外)。而小白菜(本地種)生育期間之積算氣溫與鮮重產量及相關生理性狀(株高，每株葉數、葉面積)呈現顯著性之正相關，則溫室氣溫較露地或網室高，有利於小白菜之生產。大致上在露地此三種葉菜類蔬菜之品質及營養成份優於其他栽培環境。而網室或溫室栽培的蔬菜化學成份各有高低不同。

關鍵詞：網室、塑膠布溫室、積算氣溫、葉面積、鮮重、化學成分。

Effects of Different Protected Cultivations on the Leafy Vegetables Production

Jin-Chuan Tsai[1], Kung-Shy Chi[1], Ming-Hwi Yao[1], Huey-Ing Liu[1], Lien-Sheng Liang[1], Henry Fu-Cheng Liu[2], Bing-Her Lee[2] (Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng, Taichung, Taiwan, ROC.[1] Central Weather Bureau, Taipei, ROC.[2])

ABSTRACT: Leafy vegetables (Pak-Choi, Edible amaranth, and Spinach) planted under structures (net or vinyl house) protected from the rain and cold, and the outdoors were conducted in Shilo of central Taiwan to evaluate the possibility of using structures for the vegetable production. The influence of cultivated environments on yield (total fresh weight), physiological characters, and chemical compositions (soluble solids, water soluble carbohydrate, crude proteins, insoluble solids, vitamin C, and minerals) of leafy vegetables were analyzed. Pak-Choi and edible amaranth planted in the vinyl house produced highest yield all the year round except the summer season (May to September), whereas, the outdoor cultivation produced the lowest yield. During autumn and winter seasons, spinach planted in the net house produced the higher fresh weight than the other cultivated environments (outdoors, vinyl house). The physiological characters (plant height, plant number, leaf number, and leaf area) at harvest of the tested vegetables grown under various cultivated environments were corresponded to the fresh weight yield. The cumulative temperature during growth period showed significant positive relationship to physiological characters in Pak-Choi, indicating that cumulative temperature could promote plant growth and increase fresh weight yield. All the outdoors planted vegetables produced the highest content of soluble solids, water soluble carbohydrate, vitamin C, phosphorus , calcium, and magnesium. However, no significant difference was found on the chemical compositions between the net and vinyl house planted vegetables.

Key words: Net house, Vinyl house, Cumulative temperature, Leaf area, Fresh weight, Chemical composition.

前　言

近年來，國民知識普遍的提高，營養觀念亦隨之改觀，因偏重肉食易患血管疾病，而蔬菜植物性營養成份如蛋白質，脂肪，醣，纖維，礦物質及維生素等，人體更易吸收及排泄，有益於健康。據台灣農業年統計，台灣每人每年平均蔬菜消費量，已由1951年的63公斤，提高到1991年的110公斤(楊, 1993；謝, 1993)。由此可知對於蔬菜之大量供應與優良品質之需求亦隨之提高。

台灣地區的氣候變化很大，春夏季時常遭受梅雨、颱風、豪雨的侵襲，蔬菜葉片常被雨打傷，或久浸水中，根部易窒息枯死，冬季因受到冷氣團的影響，常受寒流過境及降霜影響而導致寒害霜害發生。在此不良的氣候情況下，蔬菜之產量、品質均甚受其影響而使供銷不穩定。因此研究利用防雨或防寒設施以穩定蔬菜產量，提高品質及調節產期，成為重要的栽培改進措施。本試驗研究計畫選擇西螺地區蔬菜年產量14,600公噸，為台灣蔬菜專業區生產量最高。該地區整年蔬菜栽培期間所受氣候環境影響有如上述情況，因此急需於夏季防雨及冬季防寒設施之研究，以提高蔬菜產量與品質並調節產期，平衡市場供需，達到滿足消費者的需求與增加農民的收益。

材料與方法

一、簡易設施構造：

採用水平棚架網室(圖3)，以PVC綠色網(16目/inch^2)遮蓋，具有10%遮光，高2.27公尺之水泥柱支撐，有防雨及冬天保溫作用。另一種為屋頂式高架塑膠布設施(圖4)為南北棟骨架最高3.9公尺，低1.8公尺，屋頂成坡度20度角，骨架上搭塑膠布成封閉空間，可防風雨作用，兩側裝有手提旋

轉可把塑膠布升降，爲有效的自然通風系統，以降低內部之溫度及調節氣體，而內部上方裝有白色紗網構成25%之遮光設施。夏天具有降溫而冬天有保溫。並以露天栽培(圖2)爲對照區。

二、試驗材料(小白菜、莧菜與菠菜)、栽培環境及播種時期

栽培環境	播種時期			
	春季(3.4月)	夏季(5.6.7.8.9月)	秋季(10.11月)	冬季(12.1.2月)
1 露地	小白菜，莧菜	小白菜，莧菜	小白菜，莧菜 菠菜	小白菜，菠菜
2 水平棚架綠色網室	小白菜，莧菜	小白菜，莧菜	小白菜，莧菜 菠菜	小白菜，菠菜
3 塑膠布溫室	小白菜，莧菜	小白菜，莧菜	小白菜，莧菜 菠菜	小白菜，莧菜 菠菜

三、試驗設計及方法：

1. 多種不同栽培環境之氣象資料蒐集：試驗期間(1994年7月至1995年6月)蒐集最高、最低、平均氣溫、日射量、雨量等。
2. 本試驗於雲林縣西螺蔬菜專業區進行，在不同設施環境內種植小白菜，莧菜及菠菜，三種蔬菜皆爲本地種。採用逢機完全區集設計，畦寬1.4公尺(包括畦溝40公分，畦高14公分)。播種用撒播(10公畝約需種子500公克之密度)。播種後之收穫時期取樣、調查方法及項目如下:

1)取樣時期：

播種季節	收穫期取樣(播種後日數)
A 春秋季(3.4.10.11月)	33
B 夏季(5.6.7.8.9月)	25
C 冬季(12.1.2月)	45～52

2)調查方法及項目

每次收穫期取30株，洗淨後稱全株鮮重產量，調查及相關生理性狀即株高，株數，葉數，以自動測定儀測定葉面積，並求露地栽培之小白菜生育期間之氣象因素與鮮重產量及相關生理性狀之相關係數。又測定葉及柄部之可溶固形物、水溶性醣、粗蛋白質、不溶固形物、維生素C，及磷，鉀，鈣，鎂，鐵等礦物質。

有關品質分析法之樣品處理：取新鮮樣品迅速水洗及用蒸餾水漂洗後，瀝乾並擦拭去除多餘水分。直接切取部份樣品測定維生素C，其餘樣品加等量蒸餾水用果汁機打勻後進行下列分析，每一分析二至三重複。

分析方法：

1. 水分：精秤10g樣品至小數點四位，在105℃下乾燥過夜，秤至恆量，以乾燥前後重量差異計算水分含量。
2. 灰分：精秤10g樣品依.O.A.C.(1984)灰化法測定，灰化溫度爲600℃。
3. 粗蛋白質：依.O.A.C. (1984)之Kjeldahl法測定氮含量，而以N% x6.25 表示之。
4. 糖度(可溶固形物)：依中國國家標準(1989)之水果及蔬菜汁飲料檢驗（糖度

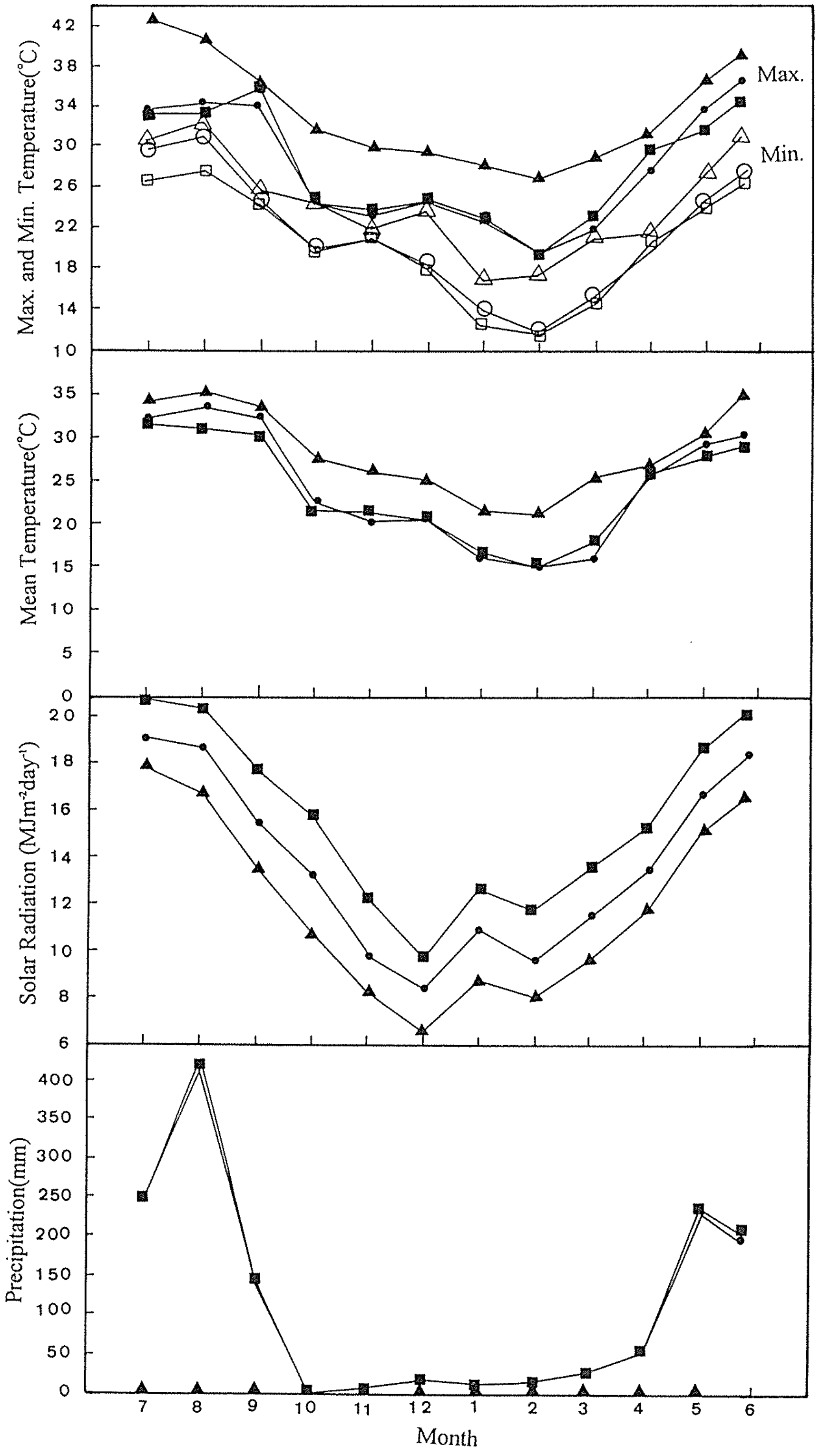


Fig. 1. Changes of monthly means of temperature, solar radiation and precipitation (July,1994 to June,1995) at the cultivated environments in Shilo area.
■ □: Outoors, ● ○: Net house, ▲ △: Vinyl house.

Fig 2. Leafy vegetables cultivated in outdoors at Shilo area. (An automatic system for meteorological data collection).

Fig 3. Leafy vegetables cultivated in net house (10% Shading). (An automatic system for meteorological data collection).

Fig 4. Leafy vegetables cultivated in vinyl house (25% shading). (An automatic system for meteorological data collection).

Fig 5. Leafy vegetables cultivated in an improved vinyl house (15% shading) with an automatic sprinkler irrigation.

之測定）方法測定。

5.不溶固形物：依中國國家標準(1989)之水果及蔬菜製品檢驗法（不溶固形物之測定）方法測定。

6.維他命C：精秤2g樣品至小數點二位，依之A.O.A.C.(1984)中之2,6- Dichloro indophenol滴定法測定。

7.水溶性醣：將測定不溶固形物時之過濾水溶液定容後，依酚－硫酸法(Dubois et al.,1956)以葡萄糖當作標準測定水溶

液中之單糖含量，再換算樣品中之糖含量。

8.礦物質組成分分析：以測定灰分後之植體灰化樣品，以3NHCl 5ml加熱溶出礦物質元素，並加水稀釋至50ml後，用感應耦合電漿－原子發光光譜儀(Inductively Coupled Plasama-Atomic Emission Spectrophotometer，簡稱ICP-AES)Jobin-Yvon JY38 Type III)，測定磷、鉀、鈣、鎂、鐵元素含量。

然後分析探討不同栽培環境之氣象條件與小白菜，莧菜，菠菜之鮮重產量及有關生理性狀、品質之關係，以瞭解不同栽培環境之氣象條件對於小白菜、莧菜、菠菜之鮮重產量，有關生理性狀及品質之影響。

結果與討論

一、試驗期間不同栽培環境(露地、網室、塑膠布溫室)氣象因素之變化狀況：

試驗期間氣象因素之變化狀況，由圖1可知不論露地、網室及塑膠布溫室之最高或最低氣溫呈現有規律性的變動。大致由試驗開始的1994年7月各不同栽培環境即露地、網室及塑膠布溫室之最高氣溫各爲約33.6℃,33.8℃,42.6℃，而最低氣溫各分別爲26.3℃,29.4℃及30.8℃左右，皆爲高峰期，除了溫室最高氣溫進入8月份下降之外，其他氣溫進入8月份達到高峰，唯露地之最高氣溫於9月份爲最高。過9月後爲秋季(10. 11月)各栽培環境之氣溫皆大幅度下降。至冬季1月或2月降至谷底，露地、網室及塑膠布溫室之最高氣溫各爲約18.9℃,19.0℃與28.4℃，最低氣溫分別爲11.6℃,12.2℃,及17.7℃左右。耐寒性蔬菜菠菜同化作用最旺盛的溫度爲15～20℃(李，1979)以這溫度範圍而言，露地與網室之最低溫度似乎偏低，其他兩種蔬菜小白菜及莧菜更不適於低溫，若遇寒流來襲及降霜影響更易導致寒霜災害發生。唯塑膠布溫室可安然無恙，但此設施亦需注意降溫使氣溫不可過高。春季3月及4月氣溫漸回昇塑膠布溫室之最高溫度曾達32.7℃左右已較不適於菠菜的生育。至夏季5月已近高峰期則菜農不再種植菠菜，爲夏季蔬菜的季節。整體而言，溫室(塑膠布)設施不論最高、最低氣溫居高，而網室與露地兩者氣溫較相近。

三種栽培環境(露地、網室、塑膠布溫室)之平均氣溫試驗期間之走勢有如上述之最高、最低氣溫，即夏季(5. 6. 7. 8. 9月)較高，7.8月爲高峰期，三種栽培環境(露地、網室、溫室)各爲31.6℃，33.5℃及35.2℃，其次春(3. 4月)秋(10. 11月)季，冬季(12. 1. 2)更低特別是1. 2月降至谷底。露地與網室皆爲15.0℃左右，溫室約21.0℃，以同化作用而言前兩者之氣溫偏低，後者有助於同化作用。以栽培環境而言，溫室(塑膠布)氣溫最高，網室與露地兩者相近，但夏季7. 8. 9月網室皆比露地高，差距亦較大。

有關日射量的變化情況與氣溫較相近，夏季(5. 6. 7. 8. 9月)爲高峰，三種栽培環境(露地、網室、溫室)都在7月份達到最高峰，各爲20.8, 19.1及17.8 MJ m^{-2} day^{-1}，於冬季12月份降到最低分別爲9.7,8.4與6.6MJ m^{-2} day^{-1}。整個試驗期間而言露地、網室與溫室日射量之大小順序分別爲露地、網室及溫室，後兩者因具有大小不同的人工遮光設施。

至於雨量的變動幅度頗大，與氣溫、日射量的變化情形較不一致，但仍然於夏季(5.6.7.8月)爲高峰。8月份爲最高峰，露地及網室分別爲421.3與410.7mm，整個試驗期間兩者之變化情形很相近，而溫室'皆爲零無變化。則溫室栽植蔬菜可防患夏季豪雨浸襲。

上述氣象因素(氣溫、日射量、雨量)因不同季節及不同栽培環境而發生不同的變化，本試驗爲整年栽培試驗，觀察葉菜類蔬菜(小白菜，莧菜，菠菜)於不同季節不同栽培環境之生長、生育，並調查其鮮重產量及有關生理性狀與品質的變化。

二、葉菜類蔬菜(小白菜、莧菜、菠菜)在不同栽培環境(露地、網室、溫室)生育生長，於收穫期鮮重產量及有關生理性狀與品質(可溶固形物、水溶性醣、粗蛋白質、不溶固形物、維生素C、磷、鉀、鈣、鎂、鐵)之變化情形。

由表1可知，葉菜類蔬菜在不同栽培環境，於不同季節收穫期之鮮重產量變化狀況，小白菜除了夏季之外其他季節都是溫室生產的鮮重產量高於露地及網室。小白菜品種複雜，有耐高溫，而在低溫期易抽苔的品種，也有耐低溫而在高溫期生育不良的品種(陳,1980)，此小白菜爲本地種似乎亦屬於不耐高溫，因夏季溫室氣溫較高，而鮮重產量較低。莧菜適合生育的溫度爲25～32℃(黃,1980)，夏季7.8月溫室的最高氣溫超過39℃，平均氣溫約35℃。(圖1)。在這種栽培環境裡因高溫對生產不利，以致鮮重產量較低。而冬季(12. 1. 2月)露地或網室氣溫偏低平均溫度16～21℃，不適於種植莧菜，唯溫室種植，其鮮重產量亦低(1403.9 g/m^2)，可能與氣溫較低有關。這兩種蔬菜(小白菜、莧菜)於露地栽培之鮮重產量皆比其他設施(網室、溫室)低，或許因露地無任何遮蓋保護易受風雨及寒害侵襲，亦易受病蟲害的感染，而降低其鮮重產量。

Table 1. Fresh weight(g/m^2) of leafy vegetables (Pak-Choi, Edible amaranth and Spinach) at harvest time.

Sowing time	Season average	Spring (Mar.-Apr.)	Summer (May.-Sept.)	Autumn (Oct.-Nov.)	Winter (Dec.-Feb.)
Pak-Choi					
(Local variety)					
Outdoors	891.6 b	1269.9 b	936.1 a	877.9 b	482.3 b
Net house	2130.8 a	2812.5 a	1031.8 a	2440.8 a	2238.2 a
Vinyl house	2270.4 a	3085.8 a	966.6 a	2561.3 a	2467.8 a
Edible amaranth					
(Local variety)					
Outdoors	1592.9 b	1568.3 b	1671.8 b	1538.7 a	—
Net house	1966.1 a	1717.3 b	2560.6 a	1620.3 a	—
Vinyl house	2078.8 a	2434.5 a	2378.0 a	2098.9 a	1403.9
Spinach					
(Local variety)					
Outdoors	2466.4 a	—	—	2546.5 a	2386.3 a
Net house	2786.2 a	—	—	2931.8 a	2640.5 a
Vinyl house	1929.4 b	—	—	2030.6 b	1828.2 b

Note: 1) Experimental period: July, 1994 to June, 1995.

2) Mean followed by the same letter within each column does not show significant difference p(0.05) by Duncan's MRT.

另一試驗作物菠菜喜冷涼性氣候，生育適溫是15～20℃。在0℃時雖發育停止，但是零下 10℃也不致受害。不耐高溫，25℃以上時生長不良(沈,1980)。台灣除高冷地外，只能在秋冬季栽培。因此本研究亦於這兩季(秋冬)作栽培試驗，由試驗結果得知，不論整年或兩季之鮮重產量都是網室居高，其次是露地，最低是溫室與其他栽培環境(露地、溫室)呈現顯著性之差異。秋(10,11月)冬(12, 1, 2月)季溫室之平均氣溫皆高過20℃之適溫界限，秋季或冬季12月都超過25℃，這期間露地與網室之平均氣溫接近或在適溫範圍內。爲此高溫致使溫室栽培的菠菜低產，而露地及網室的適溫有利於高產的最大原因。

再者影響鮮重產量頗大之有關生理性狀敘述說明，與鮮重產量具有極顯著性正相關之株高(蔡等，1995)，由表 2 得知。三種栽培環境(露地、網室、溫室)小白菜及莧菜株高之大小，除夏季之外，都與鮮重產量(表1)頗爲一致，即溫室植株最高，與其他栽培環境呈顯著性差異，其次是網室，最低是露地。

菠菜在不同栽培環境株高之表現，亦與鮮重產量類似，氣溫較高之溫室栽培之株高最低與其他栽培環境(露地、網室)之株高出現顯著性之差異。而網室栽培之株高爲最高，這乃影響其鮮重提高產量的原因之一。因植株高佔空間較大，能吸收較多的日射量，光合作用亦較旺盛，可累積較多的光合成產物。

Table 2. Plant height (cm) of leafy vegetables (Pak-Choi, Edible amaranth and Spinach) at harvest time.

Sowing time	Season average	Spring (Mar.-Apr.)	Summer (May.-Sept.)	Autumn (Oct.-Nov.)	Winter (Dec.-Feb.)
Pak-Choi					
(Local variety)					
Outdoors	16. 3 b	17. 3 b	18. 9 b	15. 3 b	13. 7 b
Net house	21. 8 b	26. 7 a	28. 0 a	16. 8 b	15. 7 b
Vinyl house	27. 7 a	29. 8 a	31. 6 a	26. 4 a	22. 8 a
Edible amaranth					
(Local variety)					
Outdoors	24. 6 b	22. 8 b	32. 8 b	32. 8 b	—
Net house	29. 2 b	27. 3 b	40. 9 a	25. 8 b	—
Vinyl house	39. 0 a	38. 3 a	44. 2 a	37. 8 a	35. 8 a
Spinach					
(Local variety)					
Outdoors	33. 4 a	—	—	32. 1 a	34. 7 a
Net house	36. 4 a	—	—	35. 5 a	37. 3 a
Vinyl house	28. 2 b	—	—	26. 5 b	29. 8 b

Note: 1)Experimental period: July, 1994 to June, 1995.
2)Mean followed by the same within each column does not show significant difference p(0.05) by Duncan's MRT.

由表 3 得知，此三種蔬菜每平方公尺株數於不同栽培環境或季節之差異不多，唯夏季於溫室栽培之莧菜株數特別多與露地及網室呈現顯著性差異，是否因高溫促使株數增加，有待研究。但不易看出與鮮重產量有直接關連。

收穫期之每株葉數小白菜與莧菜都是夏季最多冬季最少，以栽培環境而言，夏季莧菜除外，皆爲溫室栽培的葉數最高，其次是網室，露地爲最低(表 4)。露地栽培小白菜之葉數最少，除夏季之外，與其他兩種栽培環境 (網室、溫室)之葉數有顯著性差異。這兩種蔬菜葉數之變化情形與鮮重產量亦頗爲一致。或許因葉數的增加會增大葉面積而有利於生產。有待進一步研究。

Table 3. Plant number (plants /m^2) of leafy vegetables (Pak-Choi, Edible amaranth and Spinach) at harvest time.

Sowing time	Season average	Spring (Mar.-Apr.)	Summer (May.-Sept.)	Autumn (Oct.-Nov.)	Winter (Dec.-Feb.)
Pak-Choi					
(Local variety)					
Outdoors	81. 3 b	79. 2 a	98. 3 a	82. 4 a	65. 2 a
Net house	79. 7 a	75. 5 a	95. 5 a	85. 6 a	62. 3 a
Vinyl house	80. 7 a	73. 6 a	93. 1 a	86. 6 a	69. 5 a
Edible amaranth					
(Local variety)					
Outdoors	144. 1 a	125. 8 a	168. 2 a	138. 4 b	—
Net house	149. 6 a	136. 5 a	159. 9 a	152. 4 a	—
Vinyl house	148. 2 a	141. 3 a	184. 0 b	157. 0 b	110. 6
Spinach					
(Local variety)					
Outdoors	37. 7 a	—	—	39. 5 a	35. 8 a
N0et house	38. 1 a	—	—	37. 5 a	38. 7 a
Vinyl house	34. 7 a	—	—	35. 7 a	33. 6 a

Note: 1)Experimental period: July, 1994to June, 1995.
2)Mean followed by the same within each column does not show significant difference p(0.05) by Duncan's MRT.

Table 4. Leaf number of leafy vegetables (Pak-Choi, Edible amaranth and Spinach) at harvest time.

Sowing time	Season average	Spring (Mar.-Apr.)	Summer (May.-Sept.)	Autumn (Oct.-Nov.)	Winter (Dec.-Feb.)
Pak-Choi					
(Local variety)					
Outdoors	5.0 b	5.1 b	6.9 a	4.8 b	3.2 c
Net house	6.3 a	6.8 a	7.2 a	5.4 b	5.6 b
Vinyl house	7.3 a	7.2 a	7.7 a	7.3 a	6.9 a
Edible amaranth					
(Local variety)					
Outdoors	6.5 a	6.4 a	6.8 b	6.4 b	—
Net house	7.1 a	6.8 a	7.8 a	6.6 b	—
Vinyl house	7.1 a	7.2 a	7.6 a	7.3 a	6.2 a
Spinach					
(Local variety)					
Outdoors	8.7 a	—	—	8.5 a	8.8 a
Net house	8.8 a	—	—	8.9 a	8.7 a
Vinyl house	7.5 b	—	—	7.0 b	7.9 a

Note: 1) Experimental period: July, 1994 to June, 1995.
2) Mean followed by the same within each column does not show significant difference p(0.05) by Duncan's MRT.

作物個體乾物質約百分之九十爲碳水化合物，此化合物爲人體營養不可缺少的物質，而此物質主要由葉片的光合作用所形成，因此作物的葉片可喻爲生產碳水化合物的工廠。津野(1970)指出作物的物質生產量爲葉面積指數與葉的生產效率之乘積。因此可知作物的葉面積大小對於產量潛能具有莫大的影響。而蔡等(1995)在不同地區夏季蔬菜生產試驗中，得知葉菜類蔬菜之鮮重產量與葉面積出現顯著性之正相關。即葉面積愈大，鮮重產量會愈高的趨勢。由表 5 可知，本試驗之葉菜類蔬菜葉面積變化的情況與鮮重產量很相似。除夏季小白菜與秋季莧菜之外，其餘三種栽培環境之葉面積大小順序與鮮重產量一致。因此今後葉菜類蔬菜品重改良需篩選葉面積較大，而栽培管理如施肥或變化環境(溫、光照等)增大其葉面積。鈴木等(1993)指出葉菜類蔬菜葉片發育過程，強光、低夜溫、氮素、磷酸、鉀等充分供給有助於葉數的增加及葉面積的增大。上述葉數的多寡及葉面積的大小與鮮重產量的高低具有高的正相關(蔡等，1995)。但何種株型(如高矮等)，葉型(如葉形：葉長／葉幅等)有利於生產，還需研究探討。

有關葉菜類蔬菜生育期間之氣象因素與鮮重產量及相關生理性狀之相關程度，以小白菜(本地種)爲例，由表6得知，積算氣溫與鮮重產量及相關生理性狀(株高、每株葉數、葉面積)之相關係數皆達到顯著性

水準，則積算氣溫越高這些性狀(鮮重產量及相關生理性狀)越高的傾向，可能因此溫室或夏季栽培的小白菜這些性狀出現較高的趨勢。積算日射量與這些性狀的相關係數雖高，但未達到顯著性水準。而這些性狀與積算降雨量的相關係數很低，看不出關連性。小白菜與莧菜較類似，而菠菜生育期間之氣象因素與鮮重產量及相關生理性狀之相關係數低，皆未達到顯著性水準，在此省略其相關係數表。

由上述之結果與探討，瞭解葉菜類蔬菜之鮮重產量潛能與其栽培環境具有密切關係，而栽培環境的因子包羅萬象，很是複雜。本試驗著重於不同的人工設施與季節變化的相互作用，產生不同的耕地氣候，影響鮮重產量及其相關生理性狀的變化情形。

蔬菜生產除了注重鮮重產量之外，其品質對吾人更爲重要，蔬菜園藝作物不像穀類等農藝作物易添飽。吃蔬菜的目的主要在於供給人體的營養。本試驗僅以對人體較爲重要及不可或缺的營養成份如表 7 所示，敘述說明收穫期三種蔬菜(小白菜、莧菜、菠菜)在不同栽培環境(露地、網室、溫室)下各種營養成份之變化。

Table 5. Leaf area of leafy vegetables (Pak-Choi, Edible amaranth and Spinach) at harvest time.

Sowing time	Season average	Spring (Mar.-Apr.)	Summer (May.-Sept.)	Autumn (Oct.-Nov.)	Winter (Dec.-Feb.)
Pak-Choi					
(Local variety)					
Outdoors	219.3 a	189.4 b	279.8 b	279.6 a	110.4 b
Net house	369.2 a	377.5 a	511.5 a	343.2 a	244.6 a
Vinyl house	399.2 a	410.0 a	537.8 a	379.6 a	269.5 a
Edible amaranth					
(Local variety)					
Outdoors	234.0 b	187.3 b	246.7 b	268.1 a	—
Net house	333.2 a	202.4 b	486.4 a	310.8 a	—
Vinyl house	291.2 b	326.8 a	359.5 a	289.6 a	190.3
Spinach					
(Local variety)					
Outdoors	436.1 a	—	—	461.8 a	410.4 a
Net house	457.9 a	—	—	481.9 a	433.8 a
Vinyl house	293.7 b	—	—	325.9 a	261.5 b

Note: 1)Experimental period: July, 1994 to June, 1995.
2)Mean followed by the same within each column does not show significant difference p(0.05) by Duncan's MRT.

Table 6. Correlation coefficient of climatic elements and the physilolgical charaters in outdoors cultivated Pak-Choi (local variety)

Physiological Characters	Cumulative temperature (℃)	Cumulative solar radiation (MJ/m^2)	Cumulative Precipitation (mm)
Fresh weight (g/plant)	0. 79*	0. 60	-0. 43
Plant height (cm)	0. 77*	0. 62	-0. 46
Leaf no /plant	0. 90**	0. 58	0. 34
Leaf area (cm^2/plant)	0. 81*	0. 55	0. 27

Note：*,** are significant at 5% and 1% levels, respectively.

由表 7 得知，收穫期小白菜葉及柄之品質及營養成份都是露地高於網室，其他兩種蔬菜(莧菜、菠菜)除了粗蛋白之外露地栽培的各營養成份在不同栽培環境裡居於數一數二，即露地栽培的葉菜類蔬菜之營養品質優於網室或溫室。李(1979)認爲葉菜類蔬菜的化學組成與栽培及環境條件的關係，包括：栽培地區的環境及栽培年份的環境，引起溫度、雨量及光照等的差異。如溫度及光照對蔬菜維生素C含量的影響很大。在一定的溫度範圍內，溫度降低維生素C的含量亦降低。太陽輻射弱的，維生素C含量較低，太陽輻射强的，含量較高。由圖 1 可知，三種栽培環境裡露地的氣溫大致上最低，日射量最高。則瞭解露地栽培蔬菜之維生素C較其他栽培環境高的道理。李(1979)又指出溫度也影響到蔬菜的糖類，蛋白質及纖維素的含量。據分析，甘藍在低溫(10℃)下栽培時，含糖較多，蛋白質較少；如果把生長在24℃下的甘藍移到10℃的溫度條件下，其纖維素的總量顯著增加，而蛋白質含量卻降低。本試驗露地栽培蔬菜之可溶固形物，水溶性醣，不溶固形物(含有纖維素等)及礦物質(磷、鉀、鈣、鎂、鐵)含量較高，而露地栽培之菠菜的粗蛋白較低，是否與低溫有關，值得研究。

至於露地栽培之三種葉菜類蔬菜(小白菜、莧菜、菠菜)之維生素C，粗蛋白等一般成分(%)及礦物質(磷、鈣、鎂)含量大小順序，與陳等(1994)分析結果頗爲一致。如小白菜之維生素C含量爲三種蔬菜之首位，而菠菜之粗蛋白、鉀、鎂爲最高。

綜觀上述敘述說明，得知在不同栽培環境，人工設施(網室、溫室)栽培葉菜類蔬菜鮮重產量四季皆高於露地(溫室栽培之菠菜除外)，主要在於有防雨防寒等災害防患或調節設施內的氣候環境功能有關。以往的研究報告(林等1987；郭，1987)皆有如此的看法。但露地栽培葉菜類蔬菜之品質大致優於人工設施，爲不爭的事實，而網室與溫室對於蔬菜生產各有其優劣點，因此各取其優點，設計較接近露地微氣候環境之改良式塑膠布溫網室設施(圖 5)，使未來的蔬菜生產栽培不受戶外的氣候環境所影響，在人工設施的環境下生育(Libner Nonnecke, 1989)，而進行下一階段改良設施內微氣候條件與葉菜類蔬菜生產關係之試驗，以達到量質皆能提昇爲目的。

Table 7. Chemical composition of leafy vegetables at harvest time cultivated under various environments.

	Soluble solids(%)	Water soluble carbohydrate(%)	Crude protein(%)	Insoluble solids(%)	Vit.C	P	K (mg/100g)	Ca	Mg	Fe
Pak-Choi										
Outdoors	4. 6	0. 8	1. 4	1. 8	70. 5	48. 0	456. 0	209. 0	29. 0	2. 9
Net house	2. 6	0. 4	0. 6	1. 2	23. 9	42. 0	373. 0	110. 0	13. 0	2. 1
Edible amaranth										
Outdoors	4. 5	0. 4	1. 5	2. 1	22. 7	100. 0	692. 0	206. 0	81. 0	2. 9
Net house	2. 3	0. 3	1. 3	1. 7	18. 0	74. 0	631. 0	141. 0	50. 0	3. 4
Vinyl house	4. 1	0. 3	1. 3	2. 6	18. 4	49. 0	727. 0	146. 0	74. 0	0. 9
Spinach										
Outdoors	5. 9	0. 7	1. 4	1. 8	47. 2	107. 0	936. 0	89. 0	110. 0	1. 6
Net house	4. 0	0. 4	1. 6	1. 5	17. 6	55. 0	708. 0	51. 0	63. 0	3. 1
Vinyl house	4. 2	0. 3	2. 3	1. 7	20. 0	37. 0	857. 0	57. 0	71. 0	1. 5

Note : Experimental period: Sept. 1994 to Nov. 1994.

引用文獻

中央標準局(1988) 水果及蔬菜製品檢驗法 (不溶固形物之測定) 中國國家標準CNS 8622 類號 N6163。

中央標準局(1989) 水果及蔬菜汁飲料檢驗法 (糖度之測定) 中國國家標準CNS12569 類號 N6215。

李曙軒 1979 蔬菜栽培生理 中國上海科學技術出版社.

沈再發 1980 台灣農家要覽 豐年社發行：PP 931-939.

林學正、侯鳳舞 1987 國內各類設施栽培之現況介紹 設施園藝研討會專集。台灣省農業試驗所、中國園藝學會聯合編印。31-42.

津野幸人 1981 水稻科學—農山漁村文化協會。

陳家堯 1980 專業栽培蔬菜30種 豐年社 豐年叢書 752-3:pp39-40。

黃白琪 1980 台灣農家要覽—莧菜 豐年社 pp 941.

郭孚燿 1987 台灣蔬菜設施栽培之探討與展望 設施園藝研討會專集 台灣省農業試驗所 中國園藝學會聯合編印。 43-60.

陳景川、溫惠美、林頎生、黃文瑛 1994 台灣地區之蔬菜營養成分調查 屏東技術學院學報 3：39-49.

楊文振 1993 夏季蔬菜栽培之探討。 台灣農業 29(1)：65-69.

鈴木芳夫、八鍬利郎、中村俊一郎、高野泰吉、齋藤 隆、藤重宣昭、岩田隆 1993 新蔬菜園藝學。 朝倉書店。

蔡金川、漆匡時、姚銘輝、翁仁憲、梁連勝 1995 台中地區氣象因素對小白菜生育及生產之影響 (未發表)。

謝坤全 1993 台灣區蔬菜產銷檢討與改進 台灣農業 29(3)：64-71.

A.O.A.C.(1984) "Official Methods of Analysis" 14th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.

Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, and F. Smith (1956) Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. Analytical Chemistry 28 (3): 350-356.

Libner Nonnecke 1989 Vegetable Production pp: 60-75. University of Guelph, Ontario, Canada.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 225-242, 1996

東南部茶區氣象條件對茶樹芽葉生育之影響

鄭 混 元
臺灣省茶業改良場臺東分場

內 容

摘要……226
英文摘要……226
前言……227
材料與方法……227
結果與討論……227
誌謝……241
引用文獻……241

東南部茶區氣象條件對茶樹芽葉生育之影響

鄭 混 元
臺灣省茶業改良場臺東分場

摘 要

本試驗於1992及1993年在台東縣卑南鄉美農高台 (285 m)、鹿野鄉永安高台 (325 m)及太麻里鄉金針山(1000 m) 進行茶樹(*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) 芽葉農藝性狀、產量構成因子與產量調查及氣象因子觀測。藉調查兩個栽培面積大的茶樹品種—台茶12號及青心烏龍，以路徑係數分析探討氣象因子對芽葉農藝性狀及產量構成因子之影響路徑及其相對重要性，另進行上述農藝特性與產量之路徑分析，做爲茶園栽培管理之依據。結果顯示，氣溫對芽葉農藝性狀及百芽重之直接影響較大，平均氣溫爲正的效果；但最高氣溫則呈負的影響。至於相對濕度則對葉面積及萌芽密度之直接影響爲較重要，平均及最低相對濕度分別爲正及負的影響。兩品種均以萌芽密度及百芽重對芽葉產量之直接影響較大。產量與節間徑、節間長、葉面積及萌芽密度、百芽重均達顯著或極顯著正相關。

關鍵詞：茶樹，氣象因子，路徑係數分析。

Effects of Climatic Factors on the Shoot Growth of Tea Tree in Southeastern District of Taiwan

Hun-Yuan Cheng (Taitung Substation, Taiwan Tea Experiment Station, Luyeh, Taitung, Taiwan, ROC).

ABSTRACT: The experiments were conducted to study the climatic effects on the shoot growth , yield components and yield of tea tree (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) among different growing seasons in the three districts, Meinong(285 m), Yungan(325 m) and Taimali (1000 m) , in Taitung. The path coefficient analysis results were summarized as follows: The air temperature showed the greatest important of direct effect on the shoot agronomic characteristics and 100 shoot weight. The mean and higher air temperature had positive and negative effect, respectively. Furthermore, the relative humidity revealed that the direct effect of leaf area and shoot density was most important. The mean and lower relative humidity had positive and negative effect, respectively. The shoot density and 100 shoot weight showed that the direct effect of shoot yield was most important. The shoot yield appeared significant or highly significant positive correlation with internode diameter, internode length, leaf area, shoot density and 100 shoot weight.

Key words: Tea tree, Climatic factors, Path coefficient analysis.

前 言

近年來由於茶區分佈之演變使原植茶面積較多的西北及東北氣候區的茶園大幅減少，茶園面積有向中部山地及東岸氣候區偏移之現象（農業年報，1995）。東岸氣候區茶園主要分佈之範圍，其橫向分佈以花東縱谷較偏北之花蓮縣瑞穗鄉及玉里鎮向南延伸至台東縣之鹿野鄉、卑南鄉及太麻里鄉，在其他鄉鎮亦有零星分佈。兩縣茶園面積分別有272 及779 公頃。縱向分佈由海拔數十公尺的平地或丘陵地至海拔1250公尺的山地皆有茶園分佈（農林廳，1994）。茶樹之生長適溫約在20～30 ℃間。相對濕度經常保持在 80～85％，有利於茶芽發育及茶菁品質。大多數茶樹品種日平均氣溫需要在10 ℃以上，茶芽才開始萌發，至14～16 ℃時，逐漸展開嫩葉，於16～24 ℃時，芽葉生長速率爲直線關係。溫度低於10 ℃或高於 30 ℃，茶芽生長即受抑制，超過 35 ℃持續高溫就會出現葉片枯萎脫落現象（王及段，1978；Herd et al.，1976）。東部茶區由於氣候溫和、日照時間長，每年二月早春時期就有芽葉可供採收，且十二月至翌年一月晚冬時期仍有芽葉生長，全年可採摘 6～7 次，爲東部茶區茶葉產製之特色；亦爲茶葉產製之有利因素。但因茶區夏季高溫、冬季乾旱明顯，颱風、焚風等氣象災害頻繁，而且每年十月中旬至翌年一月上旬東北季風强勁，雨量集中於七月下旬等均不利於茶葉生產（農林廳，1995），必需利用各種栽培措施加以克服改善，因此對該區茶園環境條件及其生產限制因子之認識亦愈趨重要。其於不同季節及海拔之氣候因子變化與茶樹芽葉生育之關係已有較詳細描述（鄭，1995a；1995b），由相關分析也顯示芽葉農藝性狀不是受單一氣候因子的影響，而是由各種氣候因子的綜合影響。因此本研究係利用路徑係數分析法探討氣象因子對茶樹芽葉農藝性狀、產量構成因子之影響路徑及其相對重要性，另進行農藝特性與產量之路徑分析。同時也比較台茶12號及青心烏龍品種間對氣象因子反應之差異，作爲茶園栽培管理之參考。

材料與方法

本試驗於1992及1993年在台東縣卑南鄉美農高台（北緯 22° 51'，東經121° 06'，285 m）、鹿野鄉永安高台（北緯 22° 54'，東經 121° 07'，325 m）及太麻里鄉金針山（北緯 22° 38'，東經 120° 58'，1000 m），以兩種栽培面積較大之茶樹品種－台茶12號及青心烏龍爲對象，調查其芽葉農藝性狀、產量及產量構成因子。其方法爲在芽葉採摘期調查春、夏、秋、冬四個季節之芽葉產量及其農藝性狀，包括芽葉長度、第二節間直徑及節間長、第三葉葉面積和百芽重、萌芽密度等。隨機取各茶區生長整齊之茶樹第一葉已完全展開之一心三葉標準芽，每重複取五芽，四重複共廿十芽調查。此外尙進行氣象因子之觀測。其方法係以自記式溫濕度計觀測三個調查點之各季節溫濕度變化情形，另設置自計式風速計各一組，觀測風速變化。計算各季節萌芽期至採摘期的平均氣溫、最高及最低氣溫、平均相對濕度、最高及最低相對濕度及平均風速。將各項氣象因子與芽葉農藝性狀及產量構成因子及農藝特性與產量分別進行路徑係數分析。路徑係數純爲一種標準化迴歸係數，用來測定某一性狀對另一性狀之直接影響並允許將相關係數分成直接及間接影響兩種成分。

結果與討論

1.氣象因子與芽葉農藝性狀的路徑係數分析

茶樹芽葉農藝性狀不但影響產量，而且與製茶品質有著密切的關係（馮，1988；馮及沈，1990）。芽葉的生育極易受環境因子的影響，這些環境因子包括土壤、施肥、氣候及栽培管理等。在不同季節及海拔所

生產之茶芽，因受到不同的溫度、濕度、日照及水分等環境條件的影響，而產生差異並影響產量及製茶品質。以下就根據路徑係數分析結果來探討各個氣象因子對芽葉農藝性狀之影響程度。其各個因子之路徑及相關如圖1所示。

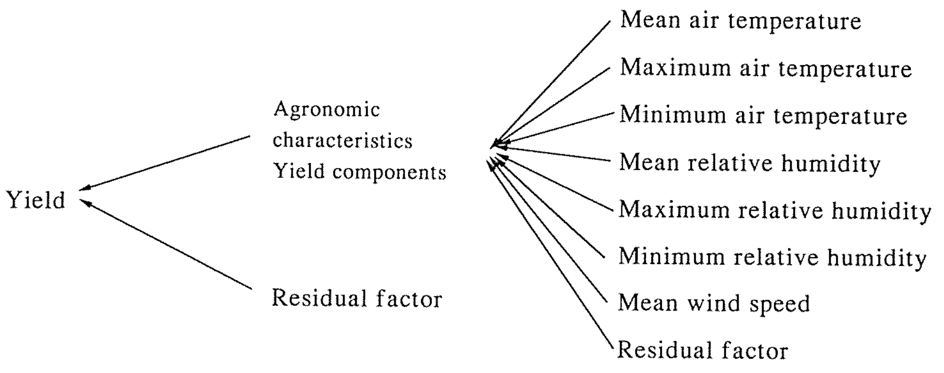


Fig 1. Path diagram between shoot yield, agronomic characteristics, yield components and climatic factors.

(1)芽長

由表1得知，平均氣溫對台茶12號芽長之直接影響爲很大之正值，而經由最高及最低氣溫、最低相對濕度及風速間接之影響均爲負效果，其中以最高氣溫間接之影響爲較大之負值，故其綜合影響爲極顯著之正相關。平均氣溫對青心烏龍芽長之直接影響爲較大之正值，而其經由最高氣溫間接之影響爲很大之負效果；但其經由最低氣溫間接之影響亦爲較大之正效果，因其直接及間接之正效果較負效果爲大，故其綜合影響爲極顯著之正相關。最高氣溫對台茶12號芽長之直接影響爲較大之負值，但其經由平均氣溫間接之影響爲很大之正效果，故其綜合影響爲極顯著之正相關。最高氣溫對青心烏龍芽長之直接影響爲很大之負值，但其經由平均及最低氣溫間接之影響爲較大之正效果，故使其綜合影響的正效果增加，爲顯著之正相關。最低氣溫對台茶12號芽長之直接影響爲很小之負值，而其經由最高氣溫間接之影響爲較大之負值；但其經由平均氣溫間接之影響爲很大之正效果，故使其綜合影響爲極顯著之正相關。最低氣溫對青心烏龍芽長之直接影響爲較大之正效果；而其經由最高氣溫間接影響爲很大之負值，但其經由平均氣溫間接影響爲較大的正效果，故使其綜合影響的正效果較負效果爲大，因此其綜合影響爲極顯著之正相關。

平均相對濕度對台茶12號芽長之直接和間接影響均很小，因其直接及間接影響之負效果較正效果爲大，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。平均相對濕度對青心烏龍芽長之直接影響爲不大之負值，而其經由最高氣溫及最高相對濕度間接之影響爲較小之正值，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。最高相對濕度對台茶12號芽長之直接影響爲不大之正值，但因其經由平均氣溫間接影響爲較大之正值，故其綜合影響爲顯著之正相關。最高相對濕度對青心烏龍芽長之直接和間接影響爲很小之正值，故其綜合影響爲不顯著之正相關。最低相對濕度對台茶12號芽長之直接影響爲不大之正值，而其經由最高氣溫、最低氣溫及最高相對濕度之間接影響亦爲較小之正值，因其直接及間接影響之正效果小於

Table 1. Path coefficient analysis of shoot length versus climatic factors in TTES No. 12 and Chin-Shin Oolong.

Climatic factors	Variety	Direct or indirect effect through							Total correlation
		Air temperature(℃)			Relative humidity(%)			Wind speed (ms^{-1})	
		Mean	Maximum	Minimum	Mean	Maximum	Minimum		
Mean air temperature	N	(2.552)	-1.500	-0.392	0.098	0.081	-0.089	-0.010	0.740**
	L	(0.998)	-2.067	1.530	0.001	0.010	0.017	0.006	0.494**
Maximum air temperature	N	2.521	(-1.518)	-0.390	0.116	0.071	-0.106	-0.007	0.687**
	L	0.977	(-2.111)	1.502	0.001	-0.002	0.026	0.003	0.398*
Minimum air temperature	N	2.493	-1.475	(-0.401)	0.089	0.077	-0.077	-0.010	0.696**
	L	0.980	-2.037	(1.556)	0.001	0.002	0.016	0.007	0.524**
Mean relative humidity	N	-0.625	0.437	0.089	(-0.402)	0.204	0.295	-0.010	0.011
	L	-0.161	0.534	-0.275	(-0.005)	0.156	-0.087	0.008	0.172
Maximum relative humidity	N	0.671	-0.349	-0.101	-0.266	(0.308)	0.165	-0.012	0.417*
	L	0.057	0.019	0.019	-0.004	(0.182)	-0.065	0.009	0.218
Minimum relative humidity	N	-0.727	0.513	0.098	-0.378	0.162	(0.314)	-0.012	-0.029
	L	-0.183	0.595	-0.279	-0.005	0.130	(-0.091)	0.010	0.179
Wind speed	N	-0.457	0.181	0.069	0.072	-0.064	-0.067	(0.056)	-0.209
	L	-0.195	0.215	-0.310	0.001	-0.048	0.029	(-0.033)	-0.340

N: TTES No.12, R^2=0.678, Residual=0.567, n=32; L:Chin-Shin Oolong, R^2=0.502, Residual=0.708, n=29; values in parenthesis are direct effects, the rest are indirect effects; * and **: P<0.05 and 0.01, respectively.

負效果，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。最低相對濕度對青心烏龍芽長之直接和間接影響之負效果小於正效果，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。

風速對台茶12號芽長之直接和間接影響之正效果均很小，因其經由平均氣溫間接之影響爲較小之負值，故其綜合影響爲不顯著之負相關。風速對青心烏龍芽長之直接和間接影響效果均很小，因其負效果大於正效果，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。

以上七項氣象因子對台茶12號及青心烏龍芽長之變異分別爲68％（R^2=0.68）及50％（R^2=0.50），而其剩餘之未知因素均很大，分別爲0.567及0.708。由路徑係數估算決定係數所得結果可知，平均及最高氣溫對台茶12號芽長之直接影響較大；平均、最高及最低氣溫對青心烏龍芽長之直接影響爲較重要。鄭（1995a）指出在不同季節，茶芽長度與氣溫間呈顯著的正相關，本試驗由海拔與季節合併進行分析也獲得同樣的結果。Squire等（1993）指出由於氣溫的影響，在不同海拔茶區，其芽葉生長速率並不相同。另陳等（1989）也指出在30/25℃（日溫/夜溫）不灌溉環境下，茶芽生長受抑制，節間變短。此外芽葉生長速率尚隨品系之不同而異（Smith et al.，1993）。本試驗結果顯示，最高氣溫對青心烏龍芽長之直接影響的負效果大於台茶12號，其原因可能爲青心烏龍較不耐旱。陳及馮（

1994）也指出茶樹品種之耐旱性普遍以青心烏龍最弱，在高溫缺水期受害最爲嚴重。在最低氣溫之影響方面，Tanton（1982）指出在12.5 ℃以下芽葉停止生長。由前報（鄭，1995b）可看出，各季節最低氣溫除太麻里之春茶外，其餘均在12 ℃以上，本試驗結果發現，最低氣溫對青心烏龍之芽長有較大的正效果的影響，台茶12號則爲很小之負效果。其原因可能是三個海拔茶區各季節最低氣溫尚未低至阻礙茶芽生長之範圍。此外由相關結果也顯示，平均、最高及最低氣溫均與兩品種之芽長呈極顯著正相關，爲直接及間接影響之綜合表現。

(2)節間直徑

由表2得知，平均氣溫對台茶12號節間直徑之直接影響爲很大之正值，而經由最高及最低氣溫間接之影響均爲較大之負效果，故其綜合影響爲極顯著之正相關。平均氣溫對青心烏龍節間直徑之直接影響爲很大之正值，而其經由最高氣溫間接之影響爲很大之負效果；因其直接及間接影響之正效果較負效果爲大，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。最高氣溫對台茶12號節間直徑之直接及經由最低氣溫間接之影響爲較大之負值，但其經由平均氣溫間接之影響爲很大之正效果，故其綜合影響爲顯著之正相關。最高氣溫對青心烏龍節間直徑之直接影響爲很大之負值，但其經由平均及最低氣溫、最低相對濕度及風速間接之影響均爲正效果，其中以平均氣溫爲最大之正值，因其直接及間接影響的正負效果相同，故其綜合影響爲不顯著之相關。最低氣溫對台茶12號節間直徑直接影響爲較大之負值，而其經由最高氣溫間接之影響亦爲較大之負值；但其經由平均氣溫間接之影響爲很大之正效果，故使其綜合影響爲顯著之正相關。最低氣溫對青心烏龍節間直徑之直接影響爲較小之正效果；而其經由最高氣溫間接影響爲很大之負值，但其經由平均氣溫之間接影響爲很大的正效果，故使其綜合影響的正效果較負效果爲大，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。

平均相對濕度對台茶12號節間直徑之直接和間接影響均很小，因其直接及間接影響之負效果較正效果爲小，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。平均相對濕度對青心烏龍節間直徑之直接影響爲不大之正值，而其經由最高氣溫間接之影響爲較大之正值，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。最高相對濕度對台茶12號節間直徑之直接影響爲不大之負值，但其經由平均氣溫間接影響爲較大之正值，因其直接及間接影響之正效果大於負效果，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。最高相對濕度對青心烏龍節間直徑之直接和間接影響爲很小之正值，故其綜合影響爲不顯著之正相關。最低相對濕度對台茶12號節間直徑之直接影響爲較小之負值，而其經由最高、最低氣溫及最高相對濕度亦爲不大之正值，因其直接及間接影響之正效果與負效果差異小，故其綜合影響爲不顯著之正相關。最低相對濕度對青心烏龍節間直徑之直接和間接影響之負效果小於正效果，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。

風速對台茶12號節間直徑間接影響之正效果爲很小，因其經由平均氣溫間接之影響爲較大之負值，使其綜合影響爲極顯著之負相關。風速對青心烏龍節間直徑之直接和間接影響爲較小之負值，因其負效果較正效果爲大，故其綜合影響爲顯著之負相關。

以上七項氣象因子對台茶12號及青心烏龍節間直徑之變異分別爲57％（R^2=0.57）及38％（R^2=0.38），而其剩餘之未知因素均很大，分別爲0.654及0.785。由路徑係數估算決定係數所得結果可知，平均、最高及最低氣溫對台茶12號節間直徑之直接影響較大；平均及最高氣溫對青心烏龍節間直徑之直接影響爲較重要。季節間茶芽長度及徑的粗細與氣溫間呈顯著正相關（鄭，1995a），合併分析也有相同的結果。但只有台茶12號達顯著正相關（表2）。另由路徑分析結果得知，最高氣溫爲負的影響。陳及蔡（1992）在盆栽試驗中發現在高溫缺水時，茶芽節間變短，不論溫度之高低，灌漑處理均能促進節間伸長。本省東部茶區高溫少雨，在1993年美農及永安茶區台茶12號之春茶芽葉生育期降雨量僅約10 mm。1992年永安茶區青心烏龍之冬茶芽葉生育期累積雨量更少，僅有3.5 mm。因乾旱可能使得最高氣溫對兩品種之節間直徑均爲負的影響。

Table 2. Path coefficient analysis of internode diameter versus climatic factors in TTES No.12 and Chin-Shin Oolong.

Climatic factors	Variety	Direct or indirect effect through							Total corre-lation
		Air temperature(℃)			Relative humidity(%)			Wind speed (ms^{-1})	
		Mean	Maximum	Minimum	Mean	Maximum	Minimum		
Mean air temperature	N	(3.363)	-1.590	-1.338	-0.108	-0.013	0.105	0.056	0.474**
	L	(2.263)	-2.535	0.340	-0.059	0.005	0.077	0.030	0.120
Maximum air temperature	N	3.323	(-1.609)	-1.331	-0.127	-0.011	0.124	0.037	0.405*
	L	2.215	(-2.589)	0.334	-0.093	-0.001	0.118	0.016	0.001
Minimum air temperature	N	3.286	-1.564	(-1.369)	-0.097	-0.012	0.090	0.054	0.386*
	L	2.222	-2.498	(0.346)	-0.065	0.001	0.075	0.031	0.111
Mean relative humidity	N	-0.824	0.463	0.303	(0.441)	-0.032	-0.345	0.056	0.061
	L	-0.364	0.655	-0.061	(0.369)	0.072	-0.399	0.039	0.311
Maximum relative humidity	N	0.884	-0.370	-0.344	0.292	(-0.049)	-0.193	0.065	0.285
	L	0.129	0.023	0.004	0.316	(0.084)	-0.299	0.041	0.301
Minimum relative humidity	N	-0.958	0.544	0.335	0.415	-0.026	(-0.367)	0.066	0.009
	L	-0.414	0.730	-0.062	0.351	0.060	(-0.419)	0.049	0.296
Wind speed	N	-0.602	0.191	0.237	-0.079	0.010	0.078	(-0.312)	-0.477**
	L	-0.441	0.264	-0.069	-0.093	-0.022	0.133	(-0.154)	-0.383*

N: TTES No.12, R^2=0.572, Residual=0.654, n=32; L:Chin-Shin Oolong, R^2=0.383, Residual=0.785, n=29; Values in parenthesis are direct effects, the rest are indirect effects; * and **: P<0.05 and 0.01, respectively.

(3)節間長

由表3得知，平均氣溫對台茶12號節間長之直接影響爲很大之正值，而經由最高、最低氣溫、平均及最高相對濕度間接之影響均爲負值，其中以最高及最低氣溫間接之影響爲較大之負效果，故其綜合影響爲顯著之正相關。平均氣溫對青心烏龍節間長之直接影響爲很大之正值，而其經由最高氣溫間接之影響爲很大之負效果，因其直接及間接影響之正效果與負效果差異小，故其綜合影響爲不顯著之相關。最高氣溫對台茶12號節間長之直接及經由最低氣溫間接影響爲較大之負值，但其經由平均氣溫間接之影響爲很大之正效果，故其綜合影響爲顯著之正相關。最高氣溫對青心烏龍節間長之直接影響爲很大之負值，但其經由平均氣溫間接之影響爲很大之正效果，因其直接及間接影響之正效果小於負效果，

故使其綜合影響爲不顯著之負相關。最低氣溫對台茶12號節間長之直接影響爲較大之負值，而其經由最高氣溫間接之影響亦爲較大之負值；但其經由平均氣溫間接之影響爲很大之正效果，故使其綜合影響爲顯著之正相關。最低氣溫對青心烏龍節間長之直接影響爲很小之正效果；而其經由最高氣溫間接影響爲很大之負值，但其經由平均氣溫間接影響亦爲很大的正效果，因其直接及間接影響之正效果較負效果爲小，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。

Table 3. Path coefficient analysis of internode length versus climatic factors in TTES No.12 and Chin-Shin Oolong.

Climatic factors	Variety	Direct or indirect effect through: Air temperature(℃)			Relative humidity(%)			Wind speed (ms^{-1})	Total correlation
		Mean	Maximum	Minimum	Mean	Maximum	Minimum		
Mean air temperature	N	(2.431)	-1.012	-0.938	-0.103	-0.032	0.029	0.042	0.417*
	L	(3.739)	-4.050	0.215	-0.092	-0.001	0.160	-0.003	-0.032
Maximum air temperature	N	2.402	(-1.024)	-0.933	-0.121	-0.028	0.034	0.028	0.358*
	L	3.660	(-4.137)	0.211	-0.144	-0.0002	0.246	-0.002	-0.165
Minimum air temperature	N	2.375	-0.995	(-0.960)	-0.093	-0.031	0.025	0.040	0.361*
	L	3.672	-3.992	(0.219)	-0.101	-0.0002	0.156	-0.003	-0.049
Mean relative humidity	N	-0.596	0.295	0.212	(0.419)	-0.081	-0.096	0.042	0.195
	L	-0.602	1.047	-0.039	(0.570)	-0.017	-0.830	-0.004	0.125
Maximum relative humidity	N	0.640	-0.236	-0.241	0.277	(-0.122)	-0.054	0.048	0.312
	L	0.213	0.037	0.003	0.488	(-0.020)	-0.623	0.004	0.102
Minimum relative humidity	N	-0.693	0.346	0.235	0.394	-0.064	(-0.102)	0.050	0.166
	L	-0.684	1.167	-0.039	0.543	-0.014	(-0.872)	-0.005	0.096
Wind speed	N	-0.435	0.122	0.166	-0.075	0.025	0.022	(-0.234)	-0.409*
	L	-0.729	0.422	-0.044	-0.144	0.005	0.276	(0.017)	-0.197

N:TTES No.12, R^2=0.421, Residual=0.760, n=32; L:Chin-Shin Oolong, R^2=0.525, Residual=0.688, n=29; values in parenthesis are direct effects, the rest are indirect effects; * and **: P<0.05 and 0.01, respectively.

平均相對濕度對台茶12號節間長之直接和間接影響均很小，因其直接及間接影響之正效果較負效果爲大，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。平均相對濕度對青心烏龍節間長之直接影響爲較大之正值，而經由最高氣溫間接之影響爲較大之正值，因其經由平均氣溫及最低相對濕度間接影響爲較大之負值，故其綜合影響爲不顯著之正相關。最高相對濕度對台茶12號及青心烏龍節間長之直接影響爲不大之負值，因其直接及間接影響之負效果較正效果小，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。最低相對濕度對台茶12號節間長之直接影響爲很小之負值，而其經由最高氣溫、最低氣

溫及平均相對濕度及風速間接影響爲較小之正值，因其直接及間接影響之負效果小於正效果，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。最低相對濕度對青心烏龍節間長之直接和間接影響之負效果小於正效果，故其綜合影響爲不顯著之正相關。

風速對台茶12號節間長之直接和間接影響之負效果較正效果爲大，因其經由平均氣溫間接之影響爲較小之負值，故其綜合影響爲不顯著之負相關。風速對青心烏龍節間長之直接和間接影響之正效果較負效果爲小，故其綜合影響爲不顯著之負相關。

以上七項氣象因子對台茶12號及青心烏龍節間長之變異分別爲42%（R^2=0.42）及53%（R^2=0.53），而其剩餘之未知因素均很大，分別爲0.760及0.688。由路徑係數估算決定係數所得結果可知，平均及最高氣溫對台茶12號及青心烏龍節間長之直接影響較大。由氣溫對節間長直接影響之路徑係數及相關可知青心烏龍品種對氣溫之反應較台茶12號敏感。陳（1992）指出台茶12號基溫爲3.7℃；但青心烏龍需達6.4℃。另陳等（1989）也指出在高溫30/25℃（日溫/夜溫）灌溉條件下新生枝條較長。本試驗結果顯示，最高氣溫對節間長呈負的影響，其原因可能是在台東茶區每年12月至翌年6月間降雨不足所致。

(4)葉厚

由表4得知，平均氣溫對台茶12號葉厚之直接影響爲很小之正值，而經由最高及最低氣溫間接之影響爲很大及較大之負及正效果，因其直接及間接影響之正效果較負效果爲小，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。平均氣溫對青心烏龍葉厚之直接影響爲較大之負值；而其經由最低氣溫間接之影響爲較大之正效果，因其直接及間接之負效果較正效果爲大，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。最高氣溫對台茶12號葉厚之直接影響爲很大之負值，但其經由最低氣溫間接之影響爲較大之正效果，因其直接及間接影響之負效果較正效果爲大，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。最高氣溫對青心烏龍葉厚之直接影響爲很小之負值，但其經由平均及最低氣溫間接之影響分別爲較大之負及正效果，因其直接及間接影響之負效果較正效果爲大，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。最低氣溫對台茶12號葉厚之直接影響爲較大之正值，而其經由最高氣溫間接之影響爲很大之負值；但其經由平均氣溫及平均、最高、最低相對濕度及風速間接之影響均爲很小之正效果，故使其綜合影響爲不顯著之負相關。最低氣溫對青心烏龍葉厚之直接影響爲較大之正效果；而其經由平均氣溫間接影響爲較大之負值，因其直接及間接之影響的正效果較負效果爲小，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。

平均相對濕度對台茶12號葉厚之直接和間接影響均很小，因其直接及間接影響之負效果較正效果爲小，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。平均相對濕度對青心烏龍葉厚之直接影響爲較大之正值，而其經由平均氣溫及最高相對濕度間接之影響均爲較小之正值，故其綜合影響爲極顯著之正相關。最高相對濕度對台茶12號葉厚之直接影響爲不大之正值，因其直接及間接影響之正效果小於負效果，故其綜合影響爲不顯著之負相關。最高相對濕度對青心烏龍葉厚之直接和間接影響之正效果大於負效果，以經由平均相對濕度間接影響爲較大之正效果。故其綜合影響爲極顯著之正相關。最低相對濕度對台茶12號葉厚之直接影響爲不大之正值，而其經由最高氣溫間接影響爲較大之正值，因其直接及間接影響之正效果大於負效果，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。最低相對濕度對青心烏龍葉厚之直接和間接影響之負效果小於正效果，以經由平均相對濕度間接影響爲較大之正效果，故其綜合影響爲極顯著之正相關。

風速對台茶12號葉厚之直接和間接影

響之負效果均很小，因其經由最高氣溫間接之影響亦為較小之負值，因此其綜合影響為不顯著之負相關。風速對青心烏龍葉厚之直接和間接影響效果均很小，因其負效果大於正效果，但其綜合影響仍為不顯著之負相關。

以上七項氣象因子對台茶12號及青心烏龍葉厚之變異分別為32％（R^2=0.32）及43％（R^2=0.43），而其剩餘之未知因素均很大，分別為0.822及0.750。由路徑係數估算決定係數所得結果可知，最高及最低氣溫對台茶12號葉厚之直接影響較大；而平均及最低氣溫對青心烏龍葉厚之直接影響為較重要。葉厚隨海拔增高而增加厚度（馮等，1993），本試驗也有相同的結果，最低氣溫對葉厚之影響為正效果，兩品種有同樣之趨勢。由相關結果也顯示青心烏龍葉厚與相對濕度間呈極顯著正相關。

Table 4. Path coefficient analysis of leaf thickness versus climatic factors in TTES No.12 and Chin-Shin Oolong.

Climatic factors	Variety	Direct or indirect effect through: Air temperature(℃) Mean	Air temperature(℃) Maximum	Air temperature(℃) Minimum	Relative humidity(%) Mean	Relative humidity(%) Maximum	Relative humidity(%) Minimum	Wind speed (ms^{-1})	Total correlation
Mean air temperature	N	(0.296)	-2.299	1.726	0.070	0.004	-0.062	0.020	-0.242
	L	(-1.808)	-0.013	1.621	-0.154	0.009	0.101	-0.002	-0.246
Maximum air temperature	N	0.292	(-2.327)	1.718	0.082	0.004	-0.073	0.013	-0.291
	L	-1.770	(-0.013)	1.593	-0.242	-0.001	0.155	-0.001	-0.279
Minimum air temperature	N	0.289	-2.262	(1.767)	0.063	0.004	-0.053	0.019	-0.173
	L	-1.775	-0.013	(1.651)	-0.170	0.002	0.099	-0.002	-0.208
Mean relative humidity	N	-0.073	0.670	-0.391	(-0.286)	0.011	0.203	0.020	0.154
	L	0.291	0.003	-0.292	(0.958)	0.129	-0.525	-0.003	0.561**
Maximum relative humidity	N	0.078	-0.535	0.444	-0.189	(0.016)	0.114	0.023	-0.049
	L	-0.103	0.0001	0.020	0.821	(0.150)	-0.393	-0.003	0.492**
Minimum relative humidity	N	-0.084	0.787	-0.433	-0.269	0.008	(0.216)	0.023	0.248
	L	0.331	0.004	-0.296	0.912	0.107	(-0.551)	-0.003	0.504**
Wind speed	N	-0.053	0.277	-0.306	0.051	-0.003	-0.046	(-0.110)	-0.189
	L	0.353	0.001	-0.329	-0.241	-0.040	0.175	(0.010)	-0.071

N: TTES No.12, R^2=0.323, Residual=0.822, n=32; L:Chin-Shin Oolong, R^2=0.436, Residual=0.750, n=29; values in parenthesis are direct effects, the rest are indirect effects; * and **: P<0.05 and 0.01, respectively.

(5)葉面積

由表5得知，平均氣溫對台茶12號葉面積之直接影響為很大之正值，而經由最高、最低氣溫及平均相對濕度間接之影響均為負效果，其中以最高氣溫為最大，因其直接及間接影響之正效果大於負效果，

但其綜合影響仍為不顯著之正相關。平均氣溫對青心烏龍葉面積之直接影響為很大之正值，而其經由最高氣溫間接之影響為很大之負效果；但其經由最低氣溫間接之影響亦為較大之正效果，因其直接及間接影響之正效果較負效果為大，但其綜合影響仍為不顯著之正相關。最高氣溫對台茶12號葉面積之直接影響為很大之負值，但其經由平均氣溫間接之影響為很大之正效果，因其經由最低氣溫及平均相對濕度均為很小之負效果，故其綜合影響為不顯著之正相關。最高氣溫對青心烏龍葉面積之直接影響為很大之負值，但其經由平均及最低氣溫間接之影響為很大及較大之正效果，因其直接及間接影響之負效果大於正效果，故其綜合影響為顯著之負相關。最低氣溫對台茶12號葉面積之直接影響為較小之負值，而其經由最高氣溫間接之影響為很大之負值；但其經由平均氣溫間接之影響為很大之正效果，故使其綜合影響為不顯著之正相關。最低氣溫對青心烏龍葉面積之直接影響為較大之正效果；而其經由最高氣溫間接之影響為很大之負值，但其經由平均氣溫間接之影響為很大的正效果，故使其綜合影響的正效果較負效果為小，但其綜合影響仍為不顯著之負相關。

Table 5. Path coefficient analysis of leaf area versus climatic factors in TTES No.12 and Chin-Shin Oolong.

Climatic factors	Variety	Direct or indirect effect through: Air temperature(℃) Mean	Air temperature(℃) Maximum	Air temperature(℃) Minimum	Relative humidity(%) Mean	Relative humidity(%) Maximum	Relative humidity(%) Minimum	Wind speed ($m\ s^{-1}$)	Total correlation
Mean air temperature	N	(2.864)	-2.255	-0.405	-0.171	0.032	0.219	0.025	0.309
	L	(2.105)	-3.349	0.911	-0.193	-0.001	0.240	0.016	0.271
Maximum air temperature	N	2.830	(-2.282)	-0.403	-0.201	0.028	0.260	0.016	0.248
	L	2.061	(-3.421)	0.896	-0.304	0.0001	0.369	0.008	-0.390*
Minimum air temperature	N	2.798	-2.218	(-0.415)	-0.154	0.031	0.188	0.024	0.254
	L	2.067	-3.301	(0.928)	-0.213	-0.0002	0.234	0.016	-0.269
Mean relative humidity	N	-0.702	0.657	0.092	(0.697)	0.081	-0.723	0.025	0.127
	L	-0.339	0.866	-0.164	(1.201)	-0.014	-1.246	0.021	0.325
Maximum relative humidity	N	0.753	-0.525	-0.104	0.461	(0.123)	-0.405	0.028	0.331
	L	0.120	0.031	0.011	1.029	(-0.016)	-0.935	0.022	0.262
Minimum relative humidity	N	-0.816	0.771	0.102	0.655	0.065	(-0.769)	0.029	0.037
	L	-0.385	0.965	-0.166	1.143	-0.011	(-1.309)	0.026	0.263
Wind speed	N	-0.513	0.272	0.072	-0.125	-0.025	0.163	(-0.137)	-0.293
	L	-0.410	0.349	-0.185	-0.303	0.004	0.415	(-0.082)	-0.212

N: TTES No.12, R^2=0.353, Residual=0.804, n=32; L:Chin-Shin Oolong, R^2=0.570, Residual=0.655, n=29; values in parenthesis are direct effects, the rest are indirect effects; * and **: P<0.05 and 0.01, respectively.

平均相對濕度對台茶12號葉面積之直接影響爲較小之正值，因其直接及間接影響之正效果較負效果爲大，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。平均相對濕度對青心烏龍葉面積之直接影響爲較大之正值，而經由最高氣溫間接之影響亦爲較大之正值，因其經由最低相對濕度爲較大之負值，故使其綜合影響爲不顯著之正相關。最高相對濕度對台茶12號葉面積之直接影響爲很小之正值，但因其經由平均氣溫及平均相對濕度間接之影響亦爲正值，而經由最高氣溫及最低相對濕度爲較小之負值，故其綜合影響爲不顯著之正相關。最高相對濕度對青心烏龍葉面積之直接影響爲很小之負值，但其經由平均及最低相對濕度間接之影響爲較大之正值及負值，故其綜合影響爲不顯著之正相關。最低相對濕度對台茶12號葉面積之直接影響爲較大之負值，而其經由最高及最低氣溫、平均及最高相對濕度及風速間接之影響均爲正值，因其直接及間接影響之負效果小於正效果，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。最低相對濕度對青心烏龍葉面積之直接影響爲較大之負效果，但其經由最高氣溫及平均相對濕度間接之影響爲較大之正值，故其綜合影響爲不顯著之正相關。

風速對台茶12號及青心烏龍葉面積之直接和間接影響效果較小，因其負效果大於正效果，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。

以上七項氣象因子對台茶12號及青心烏龍葉面積之變異分別爲35％（R^2=0.35）及57％（R^2=0.57），而其剩餘之未知因素均很大，分別爲0.804及0.570。由路徑係數估算決定係數所得結果可知，平均、最高氣溫及最低相對濕度對台茶12號及青心烏龍葉面積之直接影響較大。高海拔茶區之茶芽普遍有葉面積較大之現象（陳，1992；馮等，1993），陳及蔡（1992）指出高溫對葉面積有增進之效果，但是一但缺水時便成爲限制葉面積的主要因子。本試驗結果顯示，最高氣溫對葉面積爲負的影響，可能與東部茶區缺水有關。

2.氣象因子與產量構成因子的路徑分析

氣象因子不但影響芽葉農藝性狀，也影響萌芽密度及百芽重，這兩個因子爲構成茶樹產量之重要因子，也因氣候條件之差異而有不同的表現。如何使各個構成產量的因子發揮最大的生產潛力，皆能夠貢獻於單位面積產量的提高。即需藉由週密的栽培技術配合充足的光能、水分及養分使植株生長旺盛。因此有必要瞭解氣象因子與茶樹產量構成因子之關係。以下由路徑係數分析結果來探討各個氣象因子對茶樹產量構成因子之影響程度。

(1)萌芽密度

由表6得知，平均氣溫對台茶12號及青心烏龍萌芽密度之直接影響爲很小之正值，而經由最低氣溫間接之影響爲較大之負效果，因其直接及間接影響之正效果較負效果爲小，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。最高氣溫對台茶12號萌芽密度之直接影響爲很小之正值，但其經由最低氣溫間接之影響爲較大之負效果，因其直接及間接影響之正效果較負效果爲小，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。最高氣溫對青心烏龍萌芽密度之直接影響爲較大之正值，但其經由最低氣溫間接之影響爲較大之負效果，故使其綜合影響的負效果增加，爲不顯著之負相關。最低氣溫對台茶12號萌芽密度直接影響爲較大之負值，因其直接及間接影響之負效果較正效果爲大，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。最低氣溫對青心烏龍萌芽密度之直接影響爲較大之負效果；而其經由最高氣溫間接影響爲較大之正值，因其直接及間接影響之負效果較正效果爲大，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。

平均相對濕度對台茶12號萌芽密度之直接影響爲較大之正值，但其經由最低相

對濕度間接影響爲較大之負值，因其直接及間接影響之正效果與負效果差異小，故其綜合影響爲不顯著之相關。平均相對濕度對青心烏龍萌芽密度之直接影響爲較大之正值，而其經由最低相對濕度間接之影響爲較大之負值，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。最高相對濕度對台茶12號萌芽密度之直接和間接影響爲很小之正值，故其綜合影響爲不顯著之正相關。最高相對濕度對青心烏龍萌芽密度之直接影響爲較小之負值，因其直接及間接影響之負效果較正效果爲大，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。最低相對濕度對台茶12號萌芽密度之直接影響爲較大之負值，而經由平均相對濕度爲較大之正值，因其直接及間接影響之負效果大於正效果，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。最低相對濕度對青心烏龍萌芽密度之直接影響爲較大之負效果，因其經由平均相對濕度間接之影響爲較大之正值，但其經由最高氣溫及最高相對濕度爲較小之負值，故其綜合影響負效果增加，爲顯著之負相關。

Table 6. Path coefficient analysis of shoot weight versus climatic factors in TTES No.12 and Chin-Shin Oolong.

Climatic factors	Variety	Direct or indirect effect through: Air temperature(℃) Mean	Air temperature(℃) Maximum	Air temperature(℃) Minimum	Relative humidity(%) Mean	Relative humidity(%) Maximum	Relative humidity(%) Minimum	Wind speed (m s^{-1})	Total corre-lation
Mean air temperature	N	(0. 213)	0. 112	-0. 738	-0. 277	0. 024	0. 373	-0. 022	-0. 315
	L	(0. 241)	0. 792	-1. 255	-0. 233	-0. 033	0. 237	-0. 022	-0. 273
Maximum air temperature	N	0. 210	(0. 113)	-0. 734	-0. 326	0. 021	0. 442	-0. 015	-0. 289
	L	0. 236	(0. 809)	-1. 233	-0. 366	0. 005	0. 365	-0. 011	-0. 195
Minimum air temperature	N	0. 208	0. 110	(-0. 755)	-0. 250	0. 023	0. 321	-0. 021	-0. 364
	L	0. 237	0. 781	(-1. 278)	-0. 256	-0. 007	0. 232	-0. 022	-0. 313
Mean relative humidity	N	-0. 052	-0. 033	0. 167	(1. 132)	0. 060	-1. 230	-0. 022	0. 022
	L	-0. 039	-0. 205	0. 226	(1. 445)	-0. 495	-1. 234	-0. 028	-0. 331
Maximum relative humidity	N	0. 056	0. 026	-0. 190	0. 749	(0. 091)	-0. 690	-0. 025	0. 017
	L	0. 014	-0. 007	-0. 015	1. 238	(-0. 578)	-0. 925	-0. 029	-0. 302
Minimum relative humidity	N	-0. 061	-0. 038	0. 185	1. 064	0. 048	(-1. 309)	-0. 026	-0. 137
	L	-0. 044	-0. 228	0. 229	1. 376	-0. 413	(-1. 296)	-0. 035	-0. 411*
Wind speed	N	-0. 038	-0. 013	0. 131	-0. 203	-0. 019	0. 278	(0. 122)	0. 258
	L	-0. 047	-0. 083	0. 254	-0. 364	0. 153	0. 411	(0. 111)	0. 435*

N: TTES No.12, R^2=0.410369, Residual=0.768, n=32; L:Chin-Shin Oolong, R^2=0.455, Residual=0.737, n=29; values in parenthesis are direct effects, the rest are indirect effects; * and **: P<0.05 and 0.01, respectively.

風速對台茶12號萌芽密度之直接和間接影響之正效果均較小，因其經由平均氣溫、最高氣溫、平均相對濕度及最高相對濕度間接之影響爲很小之負值，故其綜合影響爲不顯著之正相關。風速對青心烏龍萌芽密度之直接和間接影響之正效果大於負效果，故其綜合影響爲顯著之正相關。

以上七項氣象因子對台茶12號及青心烏龍萌芽密度之變異分別爲41％（R^2 = 0.41）及46％（R^2 = 0.46），而其剩餘之未知因素均很大，分別爲0.768及0.737。由路徑係數估算決定係數所得結果可知，平均及最低相對濕度對兩品種萌芽密度之直接影響較大，兩因子分別爲正及負的影響。最低氣溫對青心烏龍萌芽密度之直接影響也很重要，而且爲負的影響。整體來看，各氣象因子對青心烏龍直接影響之路徑係數比台茶12號爲大。其原因可能如Obaga 等（1989）所述，在不同海拔茶區，品種間萌芽密度表現不同，故對環境之適應性隨品種而異。

(2)百芽重

由表7得知，平均氣溫對台茶12號百芽重之直接影響爲很大之正值，而經由最高氣溫間接之影響爲很大之負效果，因其直接及間接影響之正效果較負效果爲大，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。平均氣溫對青心烏龍百芽重之直接影響爲很大之正值，而其經由最高氣溫間接之影響爲很大之負效果，因其直接及間接影響之正效果較負效果爲小，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。最高氣溫對台茶12號百芽重之直接影響爲很大之負值，但其經由平均氣溫間接之影響爲很大之正效果，故其綜合影響爲不顯著之正相關。最高氣溫對青心烏龍百芽重之直接影響爲很大之負值，但其經由平均氣溫間接之影響爲很大之正效果，因其直接及間接影響之負效果大於正效果，但使其綜合影響仍爲不顯著之負相關。最低氣溫對台茶12號百芽重之直接影響爲很小之負值，而其經由最高氣溫間接之影響爲很大之負值；因其經由平均氣溫間接之影響爲很大之正效果，故使其綜合影響爲不顯著之正相關。最低氣溫對青心烏龍百芽重之直接影響爲很小之正效果；而其經由平均氣溫間接影響爲很大之正效果，但其經由最高氣溫間接影響爲很大的負效果，因其直接及間接影響的正效果較負效果爲小，故使其綜合影響爲不顯著之負相關。

平均相對濕度對台茶12號百芽重之直接影響爲不大之負值，因其直接及間接影響之負效果較正效果爲小，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。平均相對濕度對青心烏龍百芽重之直接影響爲較大之正值，而經由最高氣溫間接之影響爲較大之正值，故使其綜合影響爲顯著之正相關。最高相對濕度對台茶12號百芽重之直接影響爲較大之正值，但因其經由平均氣溫間接之影響亦爲較大之正值，故其綜合影響爲顯著之正相關。最高相對濕度對青心烏龍百芽重之直接影響爲很小之負值，但其經由平均相對濕度間接之影響爲較大之正效果，故其綜合影響爲不顯著之正相關。最低相對濕度對台茶12號百芽重之直接影響爲很小之負值，因其直接及間接影響之負效果小於正效果，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。最低相對濕度對青心烏龍百芽重之直接影響爲較大之負效果，因其經由平均相對濕度間接之影響爲較大之正值，故其綜合影響爲不顯著之正相關。

風速對台茶12號及青心烏龍百芽重之直接影響爲很小之負值，因其直接和間接影響之負效果大於正效果，但其綜合影響仍爲不顯著之負相關。

以上七項氣象因子對台茶12號及青心烏龍百芽重之變異分別爲37％（R^2=0.37）及49％ (R^2=0.49)，而其剩餘之未知因素均很大，分別爲0.793及0.716。由路徑係數估算決定係數所得結果可知，平均及最高氣溫對兩品種百芽重之直接影響較重要，分別爲正及負的效果。另平均及最低相對濕度對青心烏龍百芽重之直接影響也很重要，分別爲正及負的影響。陳及蔡（1992）指出，在中溫（25/20℃，日溫/夜溫）下灌溉處理，因能促進芽數之增加，故其產量最高，在低溫（20/15℃）下灌溉則因芽數減少，產量較低，另在中溫下缺水時，因芽數及芽重均少，其產量最低，而且在芽葉生長期缺水時，提高溫度反而抑制茶芽生長，易形成對口葉而降低製茶品質。另鄭（1995a）指出在低海拔茶區高溫多濕百芽重有較高之趨勢，而黃（1988）則認爲在旱季灌水有利於茶芽之生長。綜合前人以及本研究結果顯示，在高海拔茶區提高溫度有利於茶芽之生長；而平地茶區乾旱環境最不利於茶芽生長，此現象在夏季高溫及冬季乾旱下尤其明顯，可知水分爲茶樹茶芽生育的重要因子。

Table 7. Path coefficient analysis of 100 shoot weight versus climatic factors in TTES No.12 and Chin-Shin Oolong.

Climatic factors	Variety	Direct or indirect effect through: Air temperature(℃) Mean	Air temperature(℃) Maximum	Air temperature(℃) Minimum	Relative humidity(%) Mean	Relative humidity(%) Maximum	Relative humidity(%) Minimum	Wind speed (m s^{-1})	Total corre-lation
Mean air temperature	N	(2.758)	-2.580	-0.178	0.086	0.136	0.013	0.020	0.255
	L	(2.255)	-2.906	0.494	-0.223	-0.009	0.222	0.009	0.158
Maximum air temperature	N	2.725	(-2.611)	-0.177	0.101	0.119	0.016	0.014	0.187
	L	2.208	(-2.968)	0.486	-0.351	0.001	0.343	0.005	0.276
Minimum air temperature	N	2.695	-2.538	(-0.182)	0.078	0.130	0.012	0.020	0.215
	L	2.214	-2.864	(0.504)	-0.246	-0.002	0.217	0.010	0.167
Mean relative humidity	N	-0.676	0.752	0.040	(-0.351)	0.344	-0.044	0.020	0.085
	L	-0.363	0.751	-0.089	(1.388)	-0.134	-1.157	0.012	0.408*
Maximum relative humidity	N	0.725	-0.601	-0.046	-0.232	(0.519)	-0.025	0.024	0.364*
	L	0.129	0.027	0.006	1.190	(-0.156)	-0.868	0.013	0.341
Minimum relative humidity	N	-0.786	0.883	0.045	-0.330	0.274	(-0.047)	0.024	0.063
	L	-0.413	0.837	-0.090	1.321	-0.111	(-1.215)	0.015	0.344
Wind speed	N	-0.494	0.311	0.031	0.063	-0.107	0.010	(-0.114)	-0.300
	L	-0.440	0.303	-0.100	-0.350	0.041	0.385	(-0.048)	-0.209

N: TTES No.12, R^2=0.369, Residual=0.793, n=32; L:Chin-Shin Oolong, R^2=0.485, Residual=0.716, n=29; values in parenthesis are direct effects, the rest are indirect effects; * and **: P<0.05 and 0.01, respectively.

3. 芽葉農藝性狀及產量構成因子與產量的路徑係數分析

茶樹芽葉產量的影響因子有芽重及芽數，即百芽重及萌芽密度，芽重受開面度、萌芽枝的直徑、葉層厚度及葉厚影響；另芽數則受分枝數及葉面積指數影響。另一

項影響產量之因子爲採摘面積，包括株高及採摘面寬度，即樹形。其中以茶芽數、茶芽重及採摘面積爲主要的影響因子（大石，1986；Tanton, 1979）。每個構成產量的有關因子需相互配合才能獲得最高的生產潛力。芽葉農藝性狀及產量構成因子受氣象條件影響，進而影響產量。

由芽葉農藝性狀及產量構成因子與產量之路徑係數分析結果顯示（表8），台茶12號各性狀對芽葉產量之直接影響以萌芽密度及百芽重爲最大，其次爲葉厚，節間徑及葉面積最小，芽長及節間長對芽葉產量則呈較小的負的直接影響。青心烏龍則以百芽重及萌芽密度對芽葉產量之直接影響最大，其餘性狀影響較小，而芽長、節間徑及節間長對芽葉產量爲較小的負的直接影響。芽長對台茶12號及青心烏龍芽葉產量之直接影響爲很小之負效果，其經由百芽重間接之影響爲較大之正値，因其經由萌芽密度間接影響爲較大之負值，而使其正效果降低，因此其綜合影響爲不顯著之相關。節間徑對台茶12號及青心烏龍芽葉產量之直接影響爲很小，其經由百芽重間接影響爲較大之正效果，但經由萌芽密度間接影響之負效果使正效果降低，以台茶12號較明顯，故其綜合影響爲不顯著之正相關；但青心烏龍則達顯著之正相關。節間長對台茶12號及青心烏龍芽葉產量之直接影響爲很小之負值，因其經由百芽重間接之影響爲較大之正效果，故其綜合影響爲極顯著正相關。葉厚對台茶12號及青心烏龍芽葉產量之直接影響爲很小之正值，因其直接及間接影響之正效果大於負效果，但其綜合影響仍爲不顯著之正相關。葉面積對台茶12號及青心烏龍芽葉產量之直接影響爲很小之正值，因其經由百芽重間接影響爲較大正值，故其綜合影響爲極顯著之正相關。萌芽密度及百芽重對兩品種芽葉產量之直接影響爲很大之正效果，但經由其他性狀間接影響均爲很小之效果，故其綜合影響爲極顯著之正相關。

Table 8. Path coefficient analysis of shoot yield versus shoot agronomic characteristics and yield component in TTES No.12 and Chin-Shin Oolong.

Charac-teristics	Variety	Direct or indirect effect through: Shoot length (cm)	Internode diameter (mm)	Internode length (cm)	Leaf thickness (mm)	Leaf area (cm^2)	Shoot density (buds m^{-2})	100 shoot weight (g)	Total cor-relation
Shoot length	N	(-0.045)	0.018	-0.009	-0.002	0.004	-0.254	0.337	0.049
	L	(-0.043)	-0.020	-0.007	0.002	0.005	-0.256	0.432	0.113
Internode diameter	N	-0.029	(0.029)	-0.011	0.009	0.005	-0.178	0.430	0.256
	L	-0.026	(-0.034)	-0.008	0.007	0.006	-0.157	0.569	0.357*
Internode length	N	-0.020	0.016	(-0.020)	0.0003	0.005	0.029	0.365	0.375**
	L	-0.022	-0.020	(-0.014)	0.002	0.007	0.033	0.507	0.493**
Leaf thickness	N	0.001	0.004	-0.0001	(0.067)	0.002	-0.131	0.203	0.146
	L	-0.006	-0.013	-0.001	(0.019)	0.003	-0.220	0.244	0.026
Leaf area	N	-0.025	0.019	-0.014	0.015	(0.007)	0.087	0.501	0.590**
	L	-0.023	-0.024	-0.011	0.006	(0.009)	0.028	0.669	0.654**
Shoot density	N	0.015	-0.007	-0.001	-0.011	0.001	(0.773)	-0.003	0.767**
	L	0.016	0.008	-0.001	-0.006	0.0003	(0.699)	-0.008	0.708**
100 shoot weight	N	-0.025	0.021	-0.012	0.023	0.006	-0.004	(0.602)	0.611**
	L	-0.025	-0.027	-0.010	0.006	0.008	-0.008	(0.730)	0.674**

N: TTES No.12, R^2=0.973, Residual=0.163, n=32; L: Chin-Shin Oolong, R^2=0.970, Residual=0.171, n=29; values in parenthesis are direct effects, the rest are indirect effects; * and **: P<0.05 and 0.01, respectively.

以上七項茶芽特性對台茶12號及青心烏龍芽葉產量之變異均爲97%（R^2=0.97），而其剩餘之未知因素爲很小，分別爲0.163及0.171。由路徑係數估算決定係數所得結果可知，兩品種均以萌芽密度及百芽重對芽葉產量直接影響爲較重要。

由上述分析可知，萌芽密度及百芽重是構成產量之重要因子，兩者受許多性狀因子影響。而芽葉農藝性狀爲氣象因子直接和間接影響之結果，顯示各因子息息相關，因此決定了產量的高低與製茶品質的優劣。陳（1992）指出在適栽之溫量指數範圍內，溫量愈高對茶葉產量有利，但卻對製茶品質不利，此現象尤以高溫之夏茶季最明顯。適栽之雨量範圍內，雨量與氣溫之比愈高對茶葉產量不利，但卻對製茶品質有利，此現象尤以易乾旱之春、冬茶季最明顯。可知對產量及品質都有不利的因素存在，也是東部茶區茶業經營管理面臨的問題。因此有必要從了解茶園環境著手。再以栽培措施來改變茶園微氣象，以使芽葉農藝性狀更符合製作好茶之條件，因而提升製茶品質。

誌　謝

本計畫承蒙行政院農業委員會經費支助，又蒙中興大學翁仁憲教授斧正，執行期間並獲台東分場陳秀慧小姐協助，特此致謝。本研究承農委會 (81農建-2.1-林-28(2)，82農建-2.1-林-05(2) 及83農建-2.1-企-01) ）補助。

引用文獻

王鎮恆、段建眞 1978 茶樹栽培學。pp. 109-111。浙江農業大學編。

台灣省政府農林廳 1995 台灣農業年報 pp. 57。

台灣省政府農林廳 1994 台灣茶園面積調查報告 pp. 25-36。

台灣省政府農林廳 1995 農藝作物災害損失率基準參考手冊 pp. 59 -70。

陳玄 1992 氣象因子對茶樹生長之影響。pp. 85-113。茶葉產製技術研討會專刊。

陳玄、馮鑑淮 1994 茶樹旱害及其影響因子調查。中華農業氣象 1：133-141。

陳國任、謝邦昌、蔡文福 1989 水分、溫度對茶樹生育及茶芽特性之影響。pp. 73-94。台灣地區農業氣象資源應用研討會專輯。

陳國任、蔡文福 1992 缺水及不同溫度處理對茶樹芽葉生育之影響。台灣茶業研究彙報 11：31-42。

馮鑑淮 1988 茶樹育種提早選種指標的研究。(I)品種芽葉農藝性狀與產量及部份發酵茶品質的路徑分析。台灣茶業研究彙報 7：79-90。

馮鑑淮、沈明來 1990 茶樹育種提早選種指標的研究。 II. 品種芽葉農藝性狀與產量及綠茶兼包種茶以及紅茶品質之關係。台灣茶業研究彙報 9：7-20。

馮鑑淮、蔡俊明、施金柯、陳右人 1993 海拔高度與茶樹採摘週期芽葉農藝性狀及包種茶品質的影響研究。台灣茶業研究彙報 12：47-64。

鄭混元 1995a 東南部茶區季節間氣候條件對茶樹芽葉生育及化學成分之影響。中華農業氣象 2：53-67。

鄭混元 1995b 東南部茶區氣象條件對茶樹芽葉生育之影響。台灣茶業研究彙報

14：47-64。
黃騰鋒 1988 不同灌溉水量對茶樹生育之影響與灌溉效益之研究。台灣茶業研究彙報 7：35-41。
大石貞男 1986 茶の生育診斷と栽培。pp. 10-52。農文協，東京。
Herd, E. M., and G. R. Squire. 1976. Observations on the winter dormancy of tea in Malawi. J. Horti. Sci. 51: 267-279.
Obaga, S. M. O., C. O. Othieno, and J. K. Lang'at. 1989. Observation on the effect of altitude on yield attributes of some tea clones- growth and density of shoots. Tea 10(2): 73-79.
Smith, R. I., F. J. Harvey, and M. G. R. Cannell. 1993. Clonal responses of tea shoot extension to temperature in Malawi. Expt. Agric. 29: 47-60.
Squire, G. R., S. M. O. Obaga, and C. O. Othieno. 1993. Altitude, temperature and shoot production of tea in the Kenyan highlands. Expt.Agric. 29(1):107-120.
Tanton, T. W. 1979. Some factors limiting yields of tea. Expt. Agric. 15:187-191.
Tanton, T. W. 1982. Environmental factor affecting the yield of tea (*Camellia sinensis* L.) Ⅰ. Effect of air temperature. Expt. Agric. 18:47-52.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 243-249, 1996

氣溫對屏東地區冬季蓮霧生產之影響

郭 同 慶
臺灣省高雄區農業改良場

內 容

摘要……244
英文摘要……244
前言……245
材料與方法……246
結果與討論……246
誌謝……249
引用文獻……249

氣溫對屏東地區冬季蓮霧生產之影響

郭　同　慶
臺灣省高雄區農業改良場

摘　要

蓮霧爲熱帶果樹之一，生育期最適溫度爲25～30℃。屏東地區利用產期調節技術於冬季12月至4月收穫之蓮霧品質最佳，售價亦較高。惟冬季天候不穩，常有寒流過境，或持續短日照天氣，導致蓮霧落花落果，影響產量與品質至鉅。屏東地區自1991年至1995年間，10℃以下之低溫共發生7次，其最低氣溫自8.6℃至9.2℃，10℃以下之低溫持續時間自1小時至10小時不等，此等低溫造成蓮霧成熟果實25～45％之落果，落果率與最低溫間之相關不顯著，與低溫持續時間則呈顯著正相關，顯示低溫持續時間越長則蓮霧落果率越高。以民國82年1月16日寒流之爲害觀之，當日之最低氣溫爲9.2℃，10℃以下之低溫持續長達10小時，導致蓮霧花蕾期15％之落花，幼果吊鐘期21％之落果，果蒂微紅期24％之落果，以及果實成熟期45％之落果。試驗經單相關分析結果顯示，累計日照時數及積溫與鮮果重間之相關均不顯著，惟與果實醣度之間呈顯著正相關，亦即累計日照時數愈長或積溫愈高，則蓮霧果實醣度有愈高之趨勢，累計日照時數與醣度間之相關係數較高，表示日照時數對醣度之影響較大，此點可能由於累計日照時數較長，蓮霧能行光合作用之時間也較長，而累積較多之光合產物所致。又累計日照時數與積溫之間呈顯著正相關，也表示日照時數較少時氣溫也較低。

關鍵詞：蓮霧，低溫寒害，產期調節。

Effects of Air Temperature on Yield and Quality of Wax Apple in Winter in Ping-Tung Area

Tung-ching Kuo (Kaohsiung District Agricultural Improvement Station, Pingtung, Taiwan, ROC)

ABSTRACT： Wax apple is one of tropical fruit trees and the suitable temperature for the tree to grow is from 25 to 30℃. Under natural condition, wax apple is used to harvest from May to July. For improving the fruit quality and market sale, a forcing cultural technology has been applied in order to adjust the productive season from summer to winter. However, during the winter season cold fronts often pass through Taiwan, thus the air temperature may drop below 10℃, and cause fruit damages. The main purposes of this study was conducted to understand effects of air temperature on yield and quality of wax apple in winter in Pingtung area. The

results indicated that a total of 7 times low temperature of below 10℃ occurred from 1991 to 1995. The lowest temperature ranged from 8.6℃ to 9.2℃ and cases below 10℃ lasted 1 to 10 hours, which caused about 25～45％ fruit drops. There was no relationship between fruit drop and the lowest temperature. but there was a significantly positive relation between fruit drop and lasting low temperature duration. The longer the low temperature duration the higher the fruit drop of wax apple, A survey made on Jan. 16, 1993 found that the chilling injury for wax apple was most severe at mature fruit stage. It caused about 15％ of flower drop at flower bud phase, 21％ of fruit drop at bell phase, 24％ of fruit drop at green-red phase, and 45％ of fruit drop at maturing stage of wax apple, The results from correlation analysis showed that there was no significant correlation between fresh fruit weight and accumuative sunshine hours, and accumuative temperature. But accumuative sunshine hours and accumuative temperature have positive correlations with sugar content of fruit. Thus, a good weather condition during the ripening stage is very important for producing better quality of fruit.

Key words: Wax Apple, Chilling injury, Adjustment of productive season.

前　言

蓮霧(*Syzygium samarangense* Merr. et. Perry)，屬於桃金孃科之熱帶性常綠果樹，本省栽培面積約8,676公頃，高屏地區栽培面積高達7,800餘公頃，約佔全省栽培面積之90％，尤其屏東地區冬季所產之『黑珍珠』蓮霧品質特佳，脆甜可口、果肉厚且堅實多汁、香味芬芳、果皮色澤深紅亮麗，頗受消費市場歡迎。惟因產期與品質之影響使其價格差距頗大，最高售價可達250元／公斤，最低售價僅8元／公斤左右。蓮霧生產受到土壤肥料、病蟲害防治、果樹整枝等影響外，氣象因素影響蓮霧生產至鉅。以屏東地區之68年至84年平均氣溫而言，自7月上旬起平均氣溫在25℃以上，高溫持續至10月下旬，自11月上旬起逐漸下降，12月下旬起降至20℃以下，至1月～2月上旬爲一年中之低溫期，最低氣溫在15℃以下，寒流過境時最低氣溫也常降至10℃以下，至2月中旬起氣溫又開始上升，4月下旬起才回升至25℃以上（圖1）。

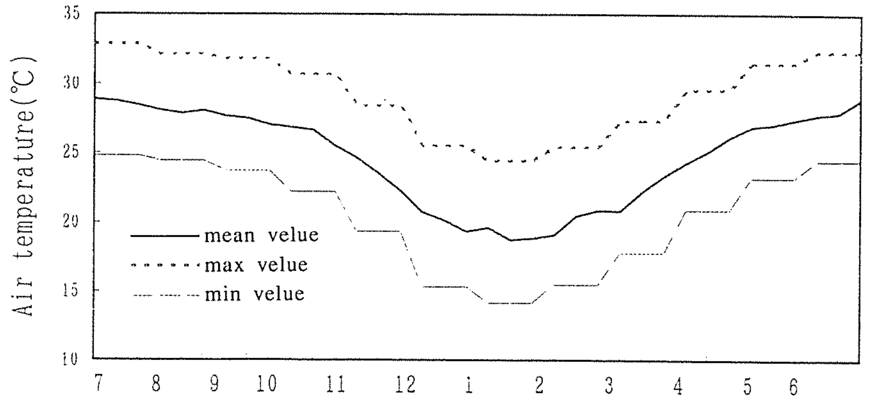


Fig 1. Air temperature distribution in Pingtung area from 1979 to 1995.

屏東地區蓮霧在正常發育情行下，花期多在二月至三月，盛產期則在五至七月。惟利用化學藥劑與配合肥培管理整枝等催花處理，花期與產期均可提早，花期最早者約在白露（九月上旬）前後，一般稱之為白露花，白露花自萌芽至果實成熟約需三個月，亦即十二月中旬前後可以收穫，此時期蓮霧之品質最佳，售價亦最高。花期次早者約在寒露（十月上旬）前後，稱之為寒露花，寒露花自萌芽至果實成熟約需三個半月，亦即二月上旬（約陰曆年前後）可以收穫，惟此時期屏東地區若遇到寒流過境，最低氣溫可能降至15℃以下，甚至低於10℃。據王(1983)指出蓮霧在開花結果期間若遇寒流來襲，氣溫降至7℃以下時，花蕾及幼果會受寒害而落果或裂果，尤其靠近果蒂變紅期（俗稱紅頭）及果實接近成熟期最易受害，受害程度因寒流強度與持續時間不同而有差異。本研究即針對此點探討低溫對冬季蓮霧之落花落果與果實品質之影響，以利冬季蓮霧之生產。

材料與方法

本研究調查之蓮霧果園位於屏東縣高樹與佳冬鄉，樹齡為六～七年生，於蓮霧園中架設百葉箱，百葉箱中放置溫濕度自記計、最高與最低溫度計等，蓮霧園並安置約旦式日照計與雨量計等氣象觀測儀器，自民國80年9月起至83年2月，於蓮霧花蕾形成期起至果實成熟收穫期逐日觀測記錄氣象資料。並於蓮霧開花始期，依花期順序選定調查株，且在調查株中逢機擇取花穗懸掛號碼牌供為調查，蓮霧栽培管理均採當地慣行方法。

結果與討論

一、氣溫對屏東地區冬季蓮霧生產之影響

由表1可見，屏東地區近五年來10℃以下低溫對冬季蓮霧所造成之寒害以82年1月16日最嚴重，當日晚上10時起最低溫度降至10℃以下，至17日上午8時，最低氣溫曾低至9.2℃，10℃以下之低溫持續時間長達10小時，因適逢蓮霧白露花期之盛產期，蓮霧受害區域包括屏北地區之高樹鄉與里港鄉，屏南地區之枋寮鄉、春日鄉、佳冬鄉、林邊鄉、以及麟洛、竹田、內埔、長治等鄉鎮，受害面積高達260餘公頃，損失價值約新台幣一億三千餘萬元。80年12月28日之寒流在屏南地區最低氣溫為8.6℃，且低溫持續時間長達10小時，導致蓮霧45％之落果(如表1所示)，惟僅屏南地區之春日、枋寮、佳冬、林邊等鄉鎮受害較為嚴重。

82年1月16日之寒流導致屏東地區蓮霧成熟果實45.36％之落果，由表2顯示，該次低溫寒害，其落花落果率隨花果生育期次序而遞增，以蓮霧果實紅熟期最為嚴重。高樹試區蓮霧花蕾期之落花率為15.38％，幼果吊鐘期之落果率為21.37％，果蒂微紅期之落果率為25.22％，果實紅熟期之落果率為46.55％。佳冬試區蓮霧花蕾期之落花率為14.29％，幼果吊鐘期之落果率為20.66％，果蒂微紅期之落果率為23.53％，果實紅熟期之落果率為44.17％。

根據國立屏東技術學院徐敎授森雄博士1983年之統計，過去40年來屏東地區最低氣溫之再現期（Return Period），10℃以下之低溫再現機率甚高，約1.1年出現一次，7℃之低溫再現機率亦高，約2.5年出現一次，最低氣溫之再現機率頗高，低溫寒害對屏東地區冬季蓮霧生產影響頗大。

二、氣溫對屏東地區冬季蓮霧品質之影響

由表3可見，高樹地區自80年10月上旬起調查之三個不同蓮霧花期，其自花蕾形成期至果實成熟收穫之積溫，隨花期次序而遞減，不同花期之日照時數與降雨量差異不大，而蓮霧果實之醣度（Brix°）依花期次序而有遞增現象，平均醣度介於7.6～9.2之間，蓮霧果實顆粒大小差距大，平均單果重量介於73公克至90公克之間。81年蓮霧之花期較80年約提早三週左右，本年度不同花期自花蕾形成期至果實成熟收穫之積溫與日照時數，隨花期次序而遞增，降雨量則初期較多，而

Table 1. Chilling injury of wax apple caused by low temperature of 10℃ at Pingtung district in last 5 years.

Date	Minimum temperature	Time below 10℃ temperature (hr)	Sum of hours below 10℃	Percentage of fallen fruit
Dec. 28, 1991	8.6℃	23:00～08:00(Dec. 29)	10 hrs.	45 %
Jan. 15, 1992	8.5℃	01:00～09:00	9 hrs.	30 %
Jan. 16, 1993	9.2℃	23:00～08:00(Jan. 17)	10 hrs.	45 %
Jan. 26, 1993	9.1℃	06:00～08:00	3 hrs.	25 %
Jan. 31, 1993	9.2℃	04:00～07:00	4 hrs.	25 %
Jan. 6, 1995	8.7℃	06:00～07:00	1 hrs.	-
Feb. 6, 1995	8.9℃	03:00～08:00	6 hrs.	30 %

Table 2. Percentage of fruit drop caused by chilling injury at the different fruit development stages of wax apple (Jan. 16, 1993)

Stages of F*. development	Fruit drop (%)		
	Kao-shu area	Chia-tung area	Average
Flower bud	15.38	14.29	14.84
Young F.*	21.37	20.66	21.02
Green-red F.	25.22	23.53	24.38
Maturity F.	46.55	44.17	45.36

* F.＝fruit

逐漸減少，蓮霧果實之平均醣度依花期次序而有逐漸遞增現象，平均醣度在8.5～9.2之間，蓮霧果實顆粒大小差距極大，平均單果重量介於71公克至107公克之間。

又由同表可知，80年佳冬地區蓮霧之花期約較屏北地區之高樹鄉約晚三週左右，自80年11月下旬起調查之三個不同蓮霧花期，其自花蕾形成期至果實成熟收穫之積溫與日照時數，隨花期次序而遞增，降雨量之差異不大，而蓮霧果實之平均醣度依花期次序而有遞增現象，試區內蓮霧果實平均醣度介於9.2～10.4°之間，蓮霧果實顆粒較均勻，差距小，平均單果重量介於80公克至93公克之間。81年蓮霧之花期較80年約提早十週左右，於白露前後就有花蕾形成，本年度不同花期自花蕾形成期至果實成熟收穫期之積溫與日照時數，均隨花期次序而遞增，降雨量則初期較多，而逐漸減少，蓮霧果實之平均醣度依花期次序而有逐漸遞增現象，平均醣度介於10.7～12.6之間，蓮霧果實顆粒小而且均勻，平均單果重量自67公克至74公克之間。

Table 3. Relationship between the meteorological conditions and the quality of wax apple in Kao-shu and Chia-tung

			Kao-Shu			
Date of flower bud phase	02/10/91	09/10/91	17/10/91	08/09/92	12/09/92	25/09/92
Date of matured fruit	02/01/92	11/01/92	20/02/92	04/12/92	11/12/92	14/02/93
Accumulative temperature (℃)	2028.00	2008.60	1935.00	2117.10	2166.70	2533.40
Sunshine hour summation (hr.)	237.80	238.20	235.80	328.20	341.80	462.20
Weight of fruit (g.) (Mean ± SD)	89.63 11.95	72.98 4.23	85.71 5.46	97.21 19.91	106.88 13.84	71.37 12.50
Sugar content (Brix°) (Mean ± SD)	7.57 0.15	8.63 1.13	9.24 1.24	8.49 0.82	8.90 1.55	9.17 0.58
			Chia-tung			
Date of flower bud phase	22/11/91	26/11/91	03/12/91	08/09/92	12/09/92	17/09/92
Date of matured fuit	28/02/92	10/03/92	17/03/92	03/12/92	16/12/92	06/01/93
Accumulative temperature (℃)	1923.40	2079.70	2089.50	2118.80	2295.80	2609.80
Sunshine hour summation (hr.)	405.10	444.20	478.10	385.60	427.50	531.70
Weight of fruit (g.) (Mean ± SD)	79.98 10.24	92.62 11.64	83.64 9.68	66.86 10.11	73.67 8.67	72.12 5.83
Sugar content (Brix°) (Mean ± SD)	9.15 0.33	10.14 1.25	10.43 0.86	10.68 1.36	11.20 1.77	12.60 1.01

為了探討自花蕾形成期至果實收穫期之積溫及累計日照時數對蓮霧果實品質之影響，特將表3之資料進行單相關分析，其結果列於表4，由表中可看出，累計日照時數及積溫與鮮果重間之相關均不顯著，惟與果實醣度之間呈顯著之正相關，表示累計日照時數愈長或積溫愈高，則蓮霧果實醣度有愈高之趨勢，同時表4也可看出，累計日照時數與醣度間之相關係數較高，表示日照時數對醣度之影響較大，此點可能由於日照時數較長，蓮霧能行光合作用之時間較長，而累積較多之光合產物所致。表4也同時顯示累計日照時數與積溫之間呈顯著正相關，表示日照時數較少時氣溫也較低，所以單從表4也無法分辨日照時數與積溫各自對醣度之確切影響，此點有待進一步之研究。

Table 4. Correlation coefficient between sunshine duration and accumulative temperature and quality of wax apple in Kao-shu and Chia-tung area.

	Sunshine duration	Accumulative temperature
Accumulative Temperature	0.67 *	
Weight of fruit	−0.31	0.36
Brix° of fruit	0.77 **	0.58 *

*：P＜0.05; **：P＜0.01

誌　謝

本研究承蒙 行政院農業委員會82農建－2.1－林－05(2)及83農建－2.1－企－01(2)｝計畫經費補助；文成之後承 邱課長明德斧正，謹致謝忱。

引用文獻

王德男 1983 蓮霧栽培。pp.2-20. 台灣省政府農林廳。

邱禮弘、黃武林、劉復誠、梁仁有 1993 臺東地區焚風現象之觀測及其對果樹生育影響之研究。中日農業氣象應用研討會論文專輯。p286-292. 中華農業氣象學會。

徐森雄 1979 玉井地區山坡地冬季之微氣候(第一報)。中華水土保持學報 9:151-159。

徐森雄. 1983. 屏東地區之寒潮。 屏東農專水土保持學報。 7:132-134。

楊之遠、張鏡湖 1989 台灣地區農業氣象災害之探討。 台灣地區農業氣象資源應用研討會專輯。 p353-354. 中央氣象局。

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 251-260, 1996

氣象因子對甘藷塊根產量的影響

賴永昌[1] 李炳和[2] 劉復誠[2]
[1]臺灣省農業試驗所嘉義分所 [2]交通部中央氣象局

內 容

摘要……252
英文摘要……252
前言……252
材料與方法……253
結果……254
討論……259
誌謝……259
引用文獻……259

氣象因子對甘藷塊根產量的影響

賴永昌[1] 李炳和[2] 劉復誠[2]

[1]臺灣省農業試驗所嘉義分所 [2]交通部中央氣象局

摘 要

將甘藷分別於春作及秋作種植，以探討不同氣象條件下甘藷塊根產量之表現，並瞭解影響甘藷塊根產量之氣候條件限制因子。本試驗於嘉義氣象站及嘉義農試分所進行，其結果顯示秋作甘藷在不同生育時期其塊根重皆高於春作甘藷，而春作甘藷不同生育時期莖重則高於秋作甘藷，且達明顯差異存在，此可能因春作甘藷生育期間月平均氣溫、月累積雨量及輻射量皆高於秋作，利於地上部生長；而秋作甘藷生育期間月平均日夜溫差高於春作甘藷，利於甘藷塊根肥大，使秋作甘藷塊根重高於春作甘藷。

關鍵詞：氣象因子、甘藷、塊根產量。

Effects of Climatic Factors on the Storage Root Yield of Sweet Potato.

Yung-chang Lai[1], Bing-Her Lee[2] and Fu-Cheng Liu[2] (Chiayi Agricultual Experiment Station, TARI, Chiayi, Taiwan, ROC[1]; Central Weather Bureau, Ministry of Transportatim and Communication Taipei, Taiwan, ROC[2])

ABSTRACT: The effects of climatic factors on the storage root yield of spring and fall were studied in Chiayi Agricultural Station and Chiayi Weather Service office indicated that the storage root yield of fall was significantly higher than spring during growth periods, and the vine yield of spring was significantly higher than fall during growth periods. As for the climatic factors, such as air temperature、 precipitation and solar radiation on spring were higher than fall, that would promote the yield of vine. The daily temperature range of fall was higher than spring during growth periods, that would enlarge the storage root of sweet potato. The storge yield was higher on fall than on spring.

Key words: Climatic factors, Sweet potato, Storage root yield.

前 言

甘藷為本省主要糧食作物，栽培時大多集中於秋冬作，主要因為秋冬作甘藷塊根產量較高且品質佳，而春夏作塊根產量偏低，依據嘉義農試分所(1928-1930)研究甘藷插植期試驗結果，每公頃塊根產量以7、8、9及10月種植時最高,11、12及1、2、5、6月種植次之，3月及4月最低,李良(1981)亦發現秋冬作塊根產量高於春夏作，造成此結

果的原因是係由於氣象因子影響所致。有關氣象因子影響甘藷生長及產量之研究，目前可供參考之文獻資料鮮少，其中氣溫為常見之因子，Skar氏等(1943)認為高溫下得到較少甘藷塊根個數，Sajjapongse and Wu (1988) 亦認為氣溫顯著影響甘藷塊根大小及塊根個數。雨量亦為主要之限制因子，李氏及高氏 (1985) 曾探討淹水對甘藷所造成之影響中發現，淹水降低甘藷塊根之大小及數目，但增加地上部莖葉之鮮重，Roberts (1991)認為甘藷採收前淹水對其塊根產量並無明顯影響，但若生育中期淹水則甘藷塊根產量則顯著降低，Martin and Carmer (1985) 則認為淹水使土壤形成硬塊，不利於塊根肥大，而降低塊根產量，Sajjapongse and Wu (1988)研究認為降雨量顯著影響甘藷塊根大小及塊根個數。

日夜溫差為影響甘藷塊根肥大之主因，因日間溫度較高時，能促進光合作用之加強，夜間溫度較低時，能抑制呼吸作用，減少養分消耗，故日夜溫差大時，將促進塊根肥大(李與黃, 1993; 賴氏等, 1996)。日輻射量亦明顯影響甘藷之生長，Opena 氏等(1990)認為輻射量將使甘藷莖蔓變細及變長，使莖蔓重明顯降低，塊根產量、塊根個數及塊根平均重亦顯著減少，Sajjapongse and Wu(1988)則認為輻射量大小與塊根大小呈正相關。本試驗擬探討影響甘藷生長之氣象限制條件，作為未來甘藷栽培之參考。

材料與方法

以甘藷品種台農57號為試驗材料，分別在嘉義農業試驗分所及嘉義氣象站進行，春作於1994年4月15日種植,秋作於 1994年9月15日種植，試驗設計採逢機完全區集設計，小區行長8公尺，行距 1公尺，株距 0.25公尺，3行區，重複4次。每公頃肥料施用量為氮肥80公斤，磷肥40公斤及鉀肥 160公斤，分二次施用，第一次在種植時，氮及鉀肥之半量及磷肥全量為基肥，第二次於植後30-40天左右，將剩餘之氮肥及鉀肥半量作為追肥施用。

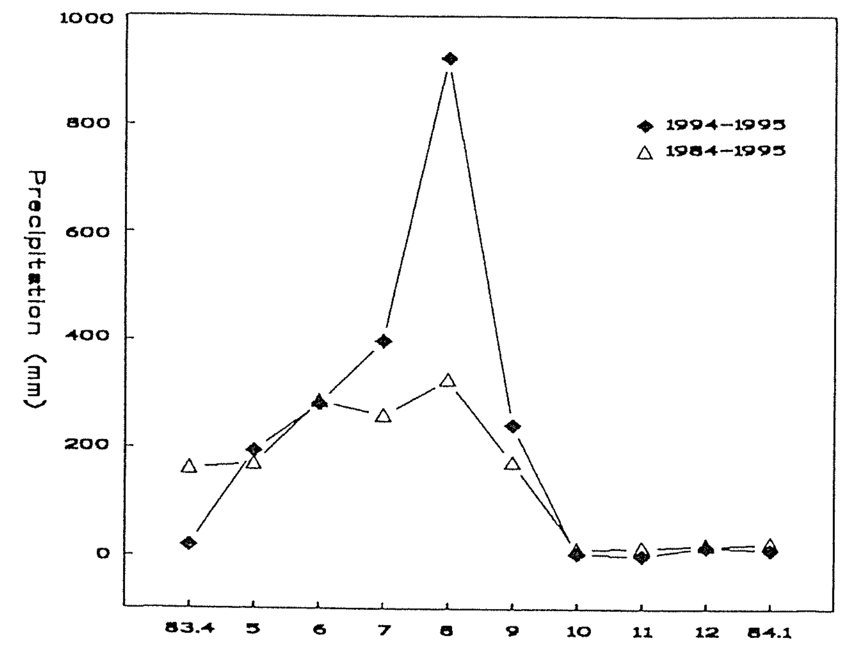


Fig. 2. Changes of precipitation in Chiayi weather service office.

於植株生育至30天、60天、90天及120天，分別進行取樣，每次自一小區逢機取樣10株，區分地上部莖、葉及地下部塊根等，調查葉重、葉面積、塊根重、每個塊根平均重及塊根個數。並在生育期間調查溫度、雨量、日夜溫差及輻射量等氣象條件，以瞭解甘藷栽培時之氣候條件及其塊根產量的關係。

結　果

(一)試驗期間氣候條件之差異

今將試驗期間觀測所得之平均氣溫、累積降雨量、平均日夜溫差及日輻射量之記錄資料列示於圖1、2、3、4。本期試驗春作甘藷全生育期爲1994年4月至8月，秋作甘藷全生育期爲1994年9月至1995年1月，由圖1得知，春作甘藷全生育期之積溫較秋作高，分別爲135.2℃及107.8℃，其變化情形，春作由低而高，秋作則爲由高而低，此結果與歷年之平均氣溫變化情形相似。圖2得知，春作全生育期中總降雨量遠大於秋作全期降雨量，分別爲1813.1mm及269.9mm，其分布情形，春作以生育初期少，生育中後期多，尤其塊根肥大期(植後60天以後)，降雨量特別多，而秋作爲生育初期多，生育中後期少，其結果與歷年平均值相似。

由圖3得知，春作每月份平均日夜溫差低於秋作，春作各月份平均值在6.9～8.8℃，而秋作在9.0～11.1℃，其變化情形，春作由高而低，生育初、中期高，生育後期低，而秋冬由低而高，生育初期低，生育中後期高，此結果與歷年之平均值相似。由圖4得知，春作全生育累積輻射量高於秋作，分別爲2460.71MJ/m及2062.76MJ/m^2，其變化情形，春作生育初期低，生育中後期高，秋作生育初期高，後期低，唯春秋作之每月累積輻射量差異並不大，每月累積皆達300MJ/m^2以上，此結果與歷年平均值相似。

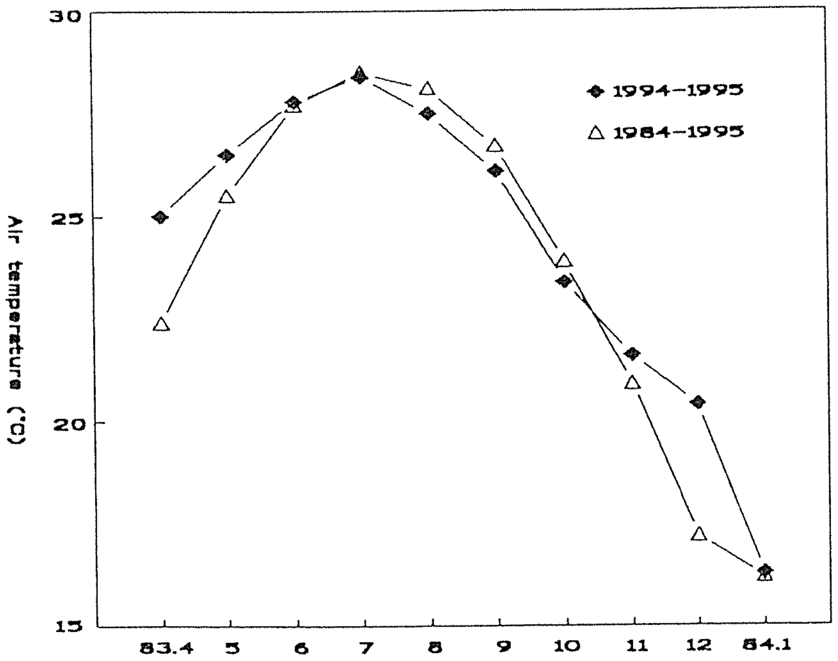


Fig. 1. Changes of air temperature in Chiayi Weather Service Office.

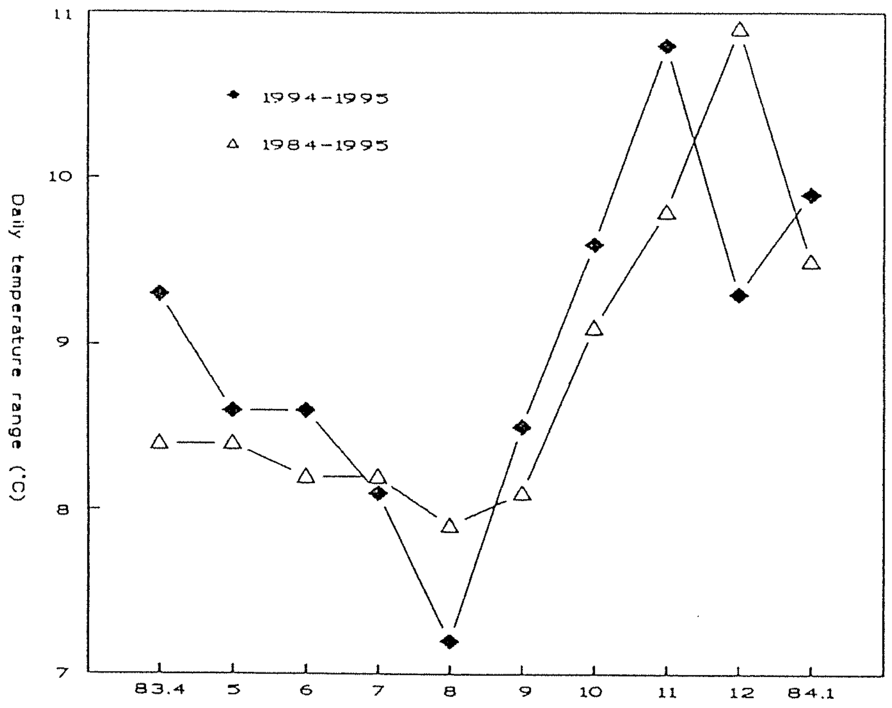


Fig. 3. Changes of daily temperature range in Chiayi Weather Service Office.

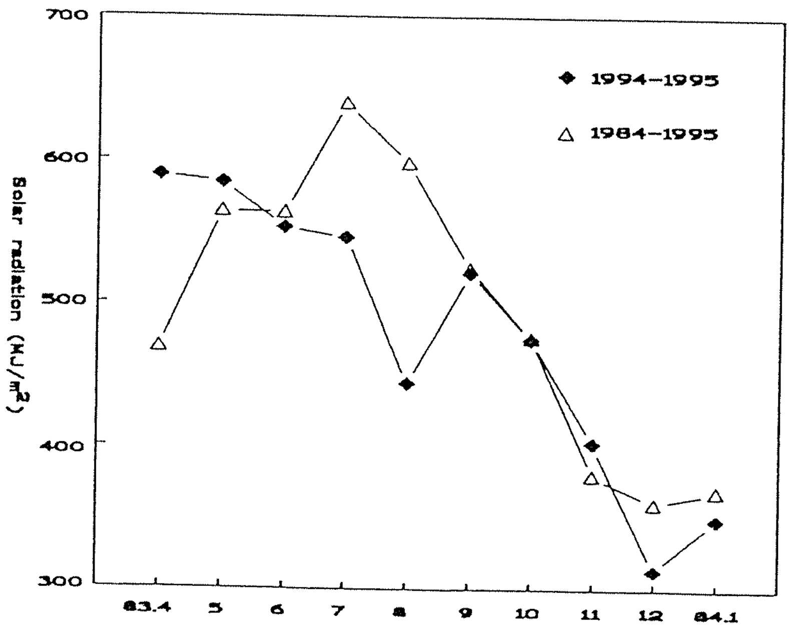


Fig. 4. Changes of solar radiation in Chiayi Weather Service Office.

(二)不同期作甘藷地上部性狀之比較

本試驗分別於嘉義分所及嘉義氣象站兩地進行，表1、2爲兩地點不同期作下各生長期之地上部性狀變化情形。由表1得知，春作甘藷全生育期中，其葉片重、莖重及葉面積之變化，一般係隨生育日數之增加而遞增，其中葉片重以植後60天達最高量爲415.06g，隨後逐漸下降，而以植後30天至60天生長期間之增長速率最大；全生育期中，莖重與葉面積之增加亦隨生長日數之增加而遞增，且皆在植後90天達到最高生長量，其後逐漸下降，而莖重與葉面積於植後30天至60天生長期間之增長率最大。比較全生育期中葉片重與莖重之比率，以生長初期(30-60天)差異較小，60天以後莖重急速增加，使葉片重與莖重比率差異大，植後90天莖重達最高量，葉片重與莖重之比率之差異亦最大。秋作甘藷全生育期中，其葉片重、莖重與葉面積之增加，均隨生長日數之增加而增多，葉片重以植後60天達最高，隨後逐漸下降，植後30天至60天生育期間之增長率最快；全生育期中，莖重與葉面積亦隨生長日數之增加而增加，植後90天分別達到最高量，隨後逐漸下降，植後30至60天生育期間之增長率最高時期，而生育初期(30-60天)葉片重與莖重比率之差異小，植後60天之莖重快速累積，使葉片重與莖重之比較差異增大。再比較春秋作葉片重、莖重及葉面積等性狀之差異，在全生育期中，除葉片重生育初期(30天)在春秋作間有顯差異外，葉重在植後60天、90天、120天與葉面積在植後30天、60天、90天及120天在春秋兩期作間並無明顯差異存在,而春秋兩期作莖重於植後30天、60天、90天及120天，皆有明顯差異存在。

表2爲嘉義氣象站之試驗結果，全生育期中，葉片重、莖重及葉面積皆隨生長日數增加而增加，於植後90天達最高量，其後逐漸下降，而植後30天至60天間爲增長速率高。再比較春秋兩期作間之差異，葉片重於生育初期(30天及60天)春秋作間有明顯差異存在，生育後期(90天及120天)則無差異存在，葉面積於植後30天、60天、90天及120天春秋兩期作間皆無明顯差異，莖重則於各生育期皆有明顯差異存在。

Table 1. Comparison of leaf weight, stem weight and leaf area in four growing periods of sweet potato at Chiayi Agricultural Experiment Station.

Character	Crop season	Days after planting			
		30	60	90	120
Leaf w.t (g/plant)	Spring	178.40a	415.06a	409.61a	327.06a
	Fall	136.17b	248.75a	242.08a	232.92a
Stem w.t (g/ plant)	Spring	271.33a	918.00a	1535.10a	1479.80a
	Fall	100.03b	339.60b	395.80b	405.80b
Leaf area (cm/plant)	Spring	9100a	20859a	33645a	15601a
	Fall	7774a	16575a	18150a	14974a

* Means with the same letter in a column are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

Table 2. Comparison of leaf weight, stem weight and leaf area in four growing periods of sweet potato at Chiayi Weather Service Office.

Character	Crop season	Days after planting			
		30	60	90	120
Leaf w.t (g/plant)	Spring	145.31a	197.12a	278.17a	216.80a
	Fall	93.81b	159.58b	198.75a	183.25a
Stem w.t (g/ plant)	Spring	368.60a	433.65a	830.42a	614.54a
	Fall	95.19a	172.28b	205.00b	186.67b
Leaf area (g/tuber)	Spring	4920a	8910a	14300a	11953a
	Fall	5831a	10681a	13223a	11933a

* Means with the same letter in a column are not significantly at 5% level by Duncan's MRT.

(三)不同期作甘藷塊根產量及產量構成因素間之比較

表3.爲嘉義分所不同植期間甘藷塊根及產量構成因素間變化情形，在全生育期中，春秋兩期作之塊根重及收穫指數皆隨生育日數增加而遞增，且均以植後120天達最高量，再比較春秋作之差異，秋作甘藷塊根重及收穫指數在30天、60天、90天及120天皆高於春作，且各時期皆呈明顯差異存在，此差異主因爲塊根均重所造成，因春秋作塊根個數在各生育時期並無差異存在，而秋作塊根均重於各生育期皆高於春作，且皆呈明顯差異存在，故造成秋作甘藷塊根重明顯高於春作甘藷。

表4.爲嘉義氣象站所得之試驗結果，在全生育期春秋作之塊根重及收穫指數皆隨生育日數增加而遞增，至植後120天達最高點，而秋作甘藷之塊根重及收穫指數在各生育期皆高於春作甘藷，且呈明顯差異存在，此差異爲塊根個數及塊根平均重兩者共同造成，因秋作甘藷塊根個數及塊根平均重在各生育期皆高於春作，且在各生育時期皆達明顯差異，造成秋作甘藷產量高於春作甘藷。

Table 3. Comparison of total root weight, root number and average root weight in four growing periods of sweet potato at Chiayi Agricultural Experiment Station.

Character	Crop season	Days after planting			
		30	60	90	120
Root w.t (g/plant)	Spring	35. 4b	84. 11b	151. 20b	251. 00b
	Fall	93. 17a	176. 67a	372. 75a	529. 58a
Root number per plant	Spring	2. 42a	3. 67a	4. 83a	6. 33a
	Fall	3. 25a	4. 67a	5. 50a	6. 58a
Average root w.t (g/tuber)	Spring	15. 73b	24. 92b	39. 48b	59. 52
	Fall	28. 74a	40. 77a	69. 65a	85. 17a
Harvest index (HI%)	Spring	5. 94b	7. 19b	7. 22b	12. 20b
	Fall	28. 29a	28. 09a	36. 88a	58. 87a

* Means with the same letter in a column are not singnificantly different at 5% level by Duncan's MRT.

Table 4. Comparison of total root weight, root number and average root weight in four growing periods of sweet potato at Chiayi Weather Service Office.

Character	Crop season	Days after planting			
		30	60	90	120
Root w.t (g/plant)	Spring	34. 67a	148. 51b	366. 90b	698. 70b
	Fall	94. 00a	286. 67a	830. 80a	819. 70a
Root number per plant	Spring	6. 58a	7. 67b	9. 58b	8. 92b
	Fall	9. 25a	11. 08a	12. 83a	12. 58a
Average root w.t (g/tuber)	Spring	3. 69b	24. 52a	40. 75b	46. 56b
	Fall	10. 70a	29. 21a	69. 99a	98. 19a
Harvest index (HI%)	Spring	4. 45b	18. 98b	24. 86b	45. 67b
	Fall	33. 21a	46. 24a	67. 29a	68. 91a

* Means with the same letter in a column are not singnificantly different at 5% level by Duncan's MRT.

討　　論

甘藷生長可分成上部莖葉生長及地下部塊根生長兩部分，其中甘藷莖葉爲進行光合作用主要器官，其產生之光合產物除供莖葉生長外，亦運送至地上部塊根；使塊根肥大，但如果莖葉在生育期發育不良，則光合產物之製造量亦受到影響，致使莖葉及塊根養分分配量均減少，塊根產量亦因而降低，反之，若生育期中莖葉生長太過繁茂，則光合作用之光合產物對莖葉之分量必比塊根多，造成塊根量降低，因此通常地上莖葉過分生長，對甘藷塊根形成與肥大有重大影響，此結果係完全由甘藷生育期間氣象因子所造成，且由數種氣象因子共同影響（Sajjapongse and Wu 1988;李良, 1981)，在本研究中發現春作地上部生長量高於秋作(表1、2)，而塊根產量則反而秋作高於春作(表3、4)，此與李(1981)認爲春、夏作甘藷在全生育期中，莖葉量增加量高於塊根增加量，而秋冬作塊根增加高量於莖葉增加量之結論相同。

全生育期中春作之月平均氣溫高於秋作(圖1)，春作生育期間月平均氣溫皆介於26.5℃至28.4℃間，有利於地上部莖葉生長，使光合產物因此無法轉達至地下部，使春作塊根產量，因而低於秋作(表3、4)，而秋作生育前期月平均氣溫較高，利於莖葉生長，而生育中後期月平均氣溫低於23.4℃以下，利於塊根肥大，使秋作塊根產量高於春作(表3、4)，此與Skar等(1943)認爲高溫不利於甘藷塊根之個數，及Sajjapongse and Wu (1988)研究認爲氣溫顯著影響塊根大小及數目，且在22.9℃的氣溫下甘藷塊根最大之情形相同。

春作之降雨量亦高於秋作(圖2)，尤其在生育中後期每月累積量皆高達193.7mm以上，造成春作甘藷地上部快速生長(表1、2)，光合產物亦因此無法轉運至地下部，使塊根個數目、塊根大小及塊根均偏低(表3、4)，此項結果與李、高(1985)認爲淹水將降低甘藷塊根個數目及大小，但增加地上部分之鮮重，Roberts (1991)認爲生育期淹水將顯著降低甘藷塊根產量，Martin 等氏(1985)認爲淹水使土壤形成硬塊，不利於甘藷塊根肥大，Sajjapongse and Wu(1988)亦認爲降雨量會顯著影響甘藷塊根大小及塊根數目之結論相符。

日夜溫差大小被認爲與甘藷塊根肥大有關，李與黃(1993)、賴氏等(1996)曾認爲日夜溫差愈大愈利於甘藷塊根肥大，在本試驗期中，秋作月平均日夜溫差高於春作(圖3)，尤其在生育中後期更高於9℃以上，使秋作甘藷生育中、後期塊根更易肥大，塊根產量因而高於春作(表3、4)。輻射量亦認爲限制甘藷生長之重要限制因子，Opena等(1990)認低輻射量將使甘藷莖葉長、莖葉重及塊根重將降低，且塊根形成期每日至少需接受10 MJ/m^2之輻射量，Sajjapongse and Wu (1988) 更認爲輻射量與塊根大小呈正相關。唯本試驗期間雖然春作輻射量與秋作累積輻射量差異並不大(圖4)，且月累積量皆超 300MJ/m^2以上，利於甘藷生長，故輻射量皆利於春秋作甘藷生長。

綜合以上結果，可知春作甘藷塊根低產主要因子爲氣溫、雨量等氣象因子均利於莖葉之生長，所以莖葉發育特別旺盛，碳水化合物之消費量多，致有效藷率(每個塊根均重)之提高受到很大之影響，故春作莖葉產量多，反而使塊根產量減少；秋作則莖葉生育較少，再加上日夜溫差大，利於塊根肥大，使塊根產量增加。

誌　　謝

本試驗承蒙行政院農業委員會經費補助(84農建-2.1-企-01(2))，試驗期間亦蒙嘉義氣象站及嘉義農試分所工作同仁協助，謹此致謝。

引用文獻

李良 1981 不同期作對甘藷生長收量及品質

之影響。科學發展月刊 9(8):693-706。

李良、高景輝 1985 甘藷逆境生理之研究 I. 淹水對甘藷生育之影響。中華農學會報。新132期，115-120。

李炳和、黃世利 1993 台灣地區氣溫日較差調查及其對農作物生育影響之探討。台灣農業 29(4): 221-236。

賴永昌、廖嘉信、陳一心 1996 金山地區春夏作甘藷不同植期對塊根產量之影響。中華農業研究(刊印中)

Martin, F. W. and S. G. Carmer. 1985 Variation in sweet potato for tolerance to some physical and biological stresses. Euphytica 34:457-466.

Opena, G. B., A. J. Demagante, M. T. L. Gerpacio and P. Vander Zaag. 1990 Growth and yield analysis of sweet potato cultivars under different light intensities. Work paper series, 1989-1990. CIP, Region VII, Los Banes Phillippins.

Roberts, W. 1991. Time of flooding and cultivar affect sweet potato yield, Hortiscience 26(12):1473-1474.

Sajjapongse, A. and M. H. Wu. 1988. Investigation on the effect of some climatic factors on sweet potato yield. The Int. Trop. Root Crop Symp. pp:1-6, Bangkok, Thailand.

Skar, and E. Sayed. 1943. Effect of temperature on yield of sweet potato. Proc. Soc. Horti. Sci.42:517-518.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 261-268, 1996

桑葉生產與氣象條件之關係

林洋三 林進財 張銘文 蘇紹璋
臺灣省蠶蜂業改良場

內 容

摘要……262
英文摘要……262
前言……263
材料與方法……263
結果與討論……263
結語……267
引用文獻……267

桑葉生產與氣象條件之關係

林洋三 林進財 張銘文 蘇紹璋
臺灣省蠶蜂業改良場

摘 要

採桑養蠶已長達數千年之久，1980年本省栽桑曾達2,737公頃，養蠶戶3,109戶，近年雖不再推廣，惟目前亞洲地區仍有百萬公頃以上之桑園，尤以泰國、越南正全力推展中，依本省推廣模式，良好的桑園是養蠶成功的基礎，本文係探討氣象因子對桑葉生產之影響為重點，以1992年7月至1994年6月，每年分春、夏、秋、冬四期，分別調查產葉量之結果，桑葉以秋及春期收穫者較高，夏及冬期收穫者較低。以單相關及複迴歸分析氣象因子對新梢性狀之影響，發現平均新梢長與平均溫度及日射量呈顯著正相關，與降雨量間之相關則不顯著，單株葉鮮重及葉乾重之生長率均與平均溫度呈顯著相關，與降雨量及日射量間之相關不顯著，而平均新梢長、單株葉鮮重生長率及單株葉乾重生長率與三項氣象因子間之複迴歸關係達到顯著水準，以高溫較有利於新梢之生長，降雨量及日射量對新梢生長之影響程度較低。桑葉成份方面，粗蛋白質含量在冬期採收者較高，粗脂肪及粗纖維含量，以夏期採收者較高，而灰分含量則以秋期最高。以單相關及複迴歸分析氣象因子對桑葉成份之影響，單相關分析得知粗脂肪含量與平均溫度呈顯著正相關，灰分含量與平均溫度及日射量呈顯著負相關，又由複迴歸分析顯示，平均溫度增高與粗脂肪含量之增加有正相關，與灰分含量為負相關，又日射量增加亦會使灰分含量降低。

關鍵詞：桑葉產量，新梢性狀，品質，氣象因子

Relationship Between Production of Mulberry Leaves and Meteorological Conditions

Yang-Shan Lin, Jinn-Tsair Lin, Ming-Wen Chang and Shaw-Chang Su (Taiwan Apicultural and Sericultural Experiment Station, Kung-kuan, Miaoli, Taiwan, ROC).

ABSTRACT：Mulberry tree cultivar Taisang 2 (*Morus alba* L. var. *acidosa* G.) was pruned and the leaf yields were weighed in four different seasons during a year, and the meteorological data were recorded accordingly. Results were summarized from July 1992 to June 1994. It showed that leaf yields were greater in autumn and spring than in summer and winter. Through simple regression analysis, the average length of shoots showed significant positive correlation with air temperature and solar radiation, but not with rainfalls. The increasing rates of fresh leaf weight and dry leaf weight showed positive correlation with air temperature. However, through multiple regression analysis, it was found that the average length of shoots and the increasing rate of fresh leaf weight and dry leaf weight were significantly related to these three climate factors. The increasing rate of shoot was more influenced by the air temperature than by the rainfall and solar radiation. The content of crude protein in leaf was greater in winter, while the content of crude fat and crude fiber were greater in summer and the content of ash was greater in autumn. Although in simple regression analysis the content of crude fat showed positive correlation with air temperature and the content of ash had negative correlation with air temperature and solar radiation, it was found that the content of crude fat was positively related to air temperature and the content of ash decreased with increasing air temperature and solar radiation through multiple regression analysis.

Key words：Yield of mulberry leaves, New shoot characters, Quality, Meteorological condition.

前 言

桑樹係多年生落葉性木本植物，自然分佈於南緯10度至北緯50度之間，生育適溫為23～27℃，年雨量600～2500公厘，日照以9～13小時較佳，溫帶至熱帶在海拔2000公尺以下皆可栽培(南澤,1976；堀田,1951)，適栽地域廣大，桑葉產量與品質明顯受品種(北浦,1974；尾暮,1988；Shidata et al., 1984,1985；Yamamoto,1985)及栽培環境影響，而栽培環境中主要因子是氣候條件(大山,1972；宮下,1970；宮 1970)與土壤養分(村上,1990；高岸等,1985a,1985b)。在氣候方面，本省位於亞熱帶地區，宜桑宜蠶，栽桑一年中採收條桑4次，桑園生產力深受氣候條件之影響，諸如氣溫、降雨量、日照等因素均因季節變化，導致其對桑葉生產量及品質之差異。

材料與方法

本試驗以10年生之台桑2號(*Morus alba* L. var. *acidosa* G. cv. Taisang 2)做為材料，每年定期放於5月1日、7月1日、9月2日及12月1日修剪採收4次，分春、夏、秋、冬季4個調查區，逢機完全區集排列，4重複，每重複6行，每行10株，行株距1.8x0.9公尺。採收時調查新梢長、葉面積、產量等農藝性狀，並採取葉片分析粗蛋白質、粗纖維、粗脂肪及灰分等化學成份，粗蛋白質是以Semi-micro Kjeldahl's法測定，粗纖維採用Henneberg -Stohmann改良法測定，粗脂肪以Soxhlet脂肪抽出器定量，灰分以電氣灰化爐550℃高溫燃燒求之(李及賴, 1976)。

結果與討論

1.桑樹新梢生長性形

桑葉之採收係配合蠶期，全年分為春、夏、秋、冬四期，表1顯示1992年秋季至1994年夏季兩年桑葉生產期之新梢生長及桑葉之產量變化情形，無論是新梢長、桑葉產量或桑葉面積均以秋、春期較高，其次為夏期，冬期最低，而桑葉生長率則以夏、秋期較高，其次為春期，冬期最低。圖1至圖3分別顯示二年之氣溫、降雨量及日射量之變化情形，皆於秋期收穫者之桑葉生長期中氣溫較高，日射量及降雨量亦充足，春期收穫者則在其生長期中氣溫降雨量及日射量均不高，而夏期收穫者則其生長期中之氣溫、日射量皆高，但降雨量密集，而冬期收穫者，氣溫及日射量均低，雨水亦缺乏。

Table 1. Comparisons of agronomic traits of mulberry in different harvest seasons from autumn 1992 to summer 1994*

Harvest season		Length of new shoot (cm)	Leaf yield (g f.w. pant^{-1})	Leaf yield (g d.w. pant^{-1})	Leaf area (cm^2 plant^{-1})	Increasing rate (g f.w.pant^{-1})	Increasing rate (g d.w. pant^{-1})
Aut.	1992	171. 9a**	1, 411c	364b	88, 789b	17. 21b	4. 44b
Win.	1992	91. 4e	543c	183d	29, 528f	7. 65	1. 94d
Spr.	1993	154. 8b	1, 427bc	335b	86, 888b	9. 45d	2. 22cd
Sum.	1993	123. 5d	1, 204cd	300bc	69, 789c	19. 47a	4. 92a
Atu.	1993	174. 3a	1, 663ab	432a	101, 855a	20. 28a	5. 27a
Win.	1993	87. 8e	707e	176d	43, 005e	9. 96d	2. 48c
Spr.	1994	136. 8c	1. 861a	433a	91, 162b	12. 32c	2. 86c
Sum.	1994	126. 1d	1. 005d	253c	59, 030d	16. 48b	4. 15b

*: means of 5 plants with four replicates. **:means in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD.

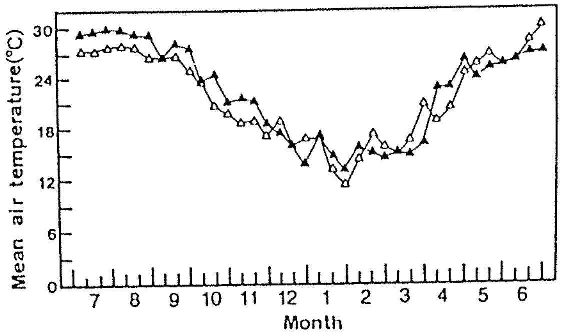


Fig 1. Changes of mean air temperature during the peroid from Jul. 1992 to Jun. 1994. △ :Jul. 1, 1992-Jun. 30, 1993; ▲:Jul. 1, 1993 -Jun. 30, 1994.

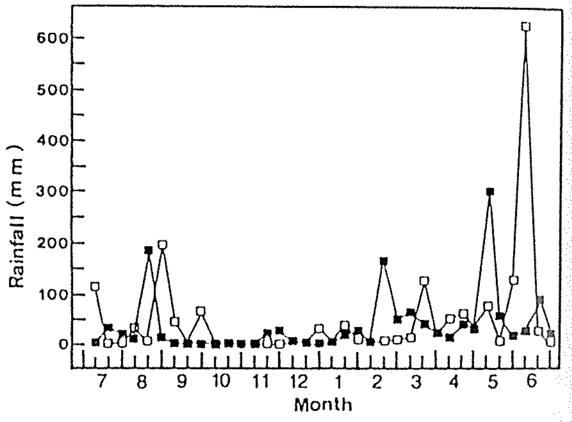


Fig. 2. Changes of rainfall during the peroid from Jul. 1992 to Jun. 1994. □: Jul. 1, 1992-Jun. 30, 1993; ■: Jul. 1, 1993-Jun. 30, 1994.

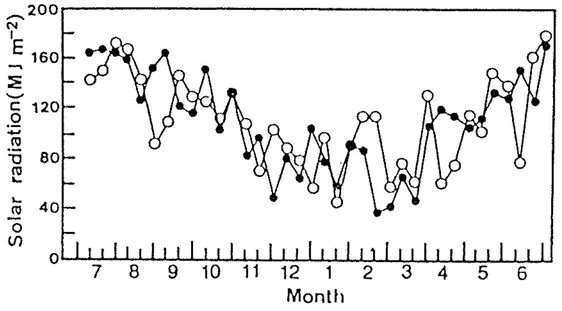


Fig 3. Changes of solar radiation during the period from Jul. 1992 to Jun. 1994. ○ : Jul. 1, 1992-Jun. 30, 1993: ●: Jul. 1, 1993-Jun. 30, 1994.

為了知悉氣象因子對桑樹新梢生長與桑葉生產之影響，在此進行單相關及複迴歸分析，表2顯示平均新梢長與平均溫度及日射量之間呈顯著正相關，與降雨量間之相關則不顯著，單株葉鮮重生長率及乾葉重生長率與平均溫度呈顯著相關，與降雨量及日射量間之相關不顯著，而上述三項氣象因子與單株葉鮮重、單株葉面積及單株葉乾重間之關係則不顯著。此外由表2 亦可看出平均溫度與日射量間呈正相關，表示在日射量高之季節，其氣溫亦高。 又由

Teble 2. Regression coefficient between shoot growth of mulberry and major climatic factors during the period of Jul. 1992-Jun 1994.

	Mean temperature	Rainfall	Solar radiation
Rainfall	0.45ns		
Solar radiation	1.817*	0.172ns	
Average length of shoots	0. 961***	0. 560ns	0. 762*
Fresh weight of leaves	-0. 044ns	0. 161ns	-0. 220ns
Growth rate	0. 838**	0. 663ns	0. 572ns
Leaf area	0. 722ns	0. 608ns	0. 432ns
Dry matter of leaves	0. 082ns	0. 714ns	-0. 108ns
Growth rate	0. 875**	0. 621ns	0. 619ns

***,**,* and ns:p ＜0.001, p ＜0.01,p ＜0.05 and no significant, respectively (n＝8)

表 3之複迴歸分析可看出，平均新梢長、單株葉鮮重生長率及單株葉乾重生長率與三種氣象因子間之複迴歸關係達到顯著水準，由標準淨迴歸係數之大小觀之，高溫有利於新梢之生長，降雨量及日射量對新梢生長之影響程度極低。基於以上相關分析可知，高溫有利於桑樹新梢生長，故在秋期可以得到高產量，春季因氣溫不高，以致其生長率不高，唯其新梢生長日數長達 151日，故可得到高產量。此外夏季收穫者，在高溫下，兩年之單株葉鮮重生長率分別高達19.74g與16.48g，單株葉乾重生長率分別高達4.92g與4.15g，唯新梢生長日數僅61日，以致新梢長及葉產量均低，而冬季氣溫低，不利於新梢生長，兩年之葉鮮重生長率分別僅為7.65g與9.96g，葉乾重生長率分別僅為1.94g與2.48g，乃為四期中最低，而且其新梢生長日數僅為71日，以致新梢長及葉產量均低。

2.桑葉成份之變化情形

1992年秋期至1994年夏期，兩年桑葉成份之變化如表4顯示，冬期採收者之粗蛋白質含量最高，依序為春、夏、秋、冬期較低，而灰分含量則以秋期採收者最高，冬、春期次之，夏期最低。為了瞭解氣象因子對桑葉成份變化之影響，進行單相關及複迴歸分析，如表5顯示，粗脂肪含量與平均溫度呈顯著正相關，而與降雨量及日射量之相關不顯著；灰分含量則與平均溫度及日射量呈顯著負相關，而與降雨量之相關不顯著，其餘之成分與三項氣象因子間之相關不顯著。又由複迴歸分析表6可看出，祇是粗脂肪與三項氣象因子間之複迴歸關係達到顯著水準，由標準淨迴歸係數之大小觀之，高溫有利粗脂肪含量之增加，降雨量及日射量對粗脂肪之變化影響程度較低。若除去影響程度最小之降雨量，觀其複迴歸分析，如表7則可知僅灰分含量與平均溫度及日射量之間呈顯著之關係，觀其標準淨迴歸係數，除了粗纖維含量受平均溫度和日射量的影響程度相近外，其餘均受平均溫度之影響程度較大，由此可見增高氣溫與粗脂肪含量增加，灰分含量降低有關，且日射量增加與灰分含量降低也有關。

本試驗參考有效積溫預測桑葉產量(湯等,1992)，調查不同生長季節有效日平均積溫之結果(表7)，與桑葉產量之趨勢，亦相

一致；而日本利用管澤春吉之方法預測產葉量，是依据日照時數之相關(南澤,1976)。本試驗將繼續調查多年，並配合病蟲害等資料，以多項氣象因子作探討，冀期建立桑葉生產預測模式。

Table 3. Summarized results of multiple regression analysis for determining shoot growth of mulberry with major climatic factors during the period of Jul.1 1992-Jun.1994.

New shoot character	R	df	Regression equation 1)				Partial correlation coefficient		
			a	MT	RF	SR	Mt	RF	SR
Average length of shoot	0. 92**	3, 4	-0. 65	9. 03	1. 81	3. 66	0. 87(83)	0. 16(15)	2. 47(2)
Fresh weight of leaf	0. 33	3, 4	1256. 22	28. 84	11. 07	-67. 93	0. 31(34)	0. 11(12)	-0. 49(54)
Increasing rate (g.f.w day^{-1})	0. 90*	3, 4	-5. 16	0. 85	0. 36	-2. 22	0. 82(63)	0. 32(25)	-0. 15(12)
Leaf area	0. 86	3, 4	-263. 93	65. 47	13. 23	-41. 91	1. 08(46)	0. 20(11)	-0. 48(28)
Dry matter of leaves	0. 32	3, 4	233. 36	10. 86	1. 21	-16. 62	0. 47(46)	4. 77(5)	-0. 50(49)
Growth rate	0. 91*	3, 4	-1. 96	0. 24	7. 43	-5. 68	0. 88(69)	0. 25(20)	-0. 14(11)

1: Y＝a＋bMY＋cRF＋dSR; Y: new shoot characters; YM: mean temperature; RF:rainfall; SR: solar radiation;
** and *: P＜0.01 and p＜0.05, respectively.

Table 4. Comparisons of chemical composi - tions of mulberry leaves in different harvests during Aut. 1992 and Sum. 1994*

Harvest season	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Ash
	—— (% of dry mater) ——			
Aut. 1992	19. 56c**	4. 89c	10. 39bc	14. 25a
Win. 1992	21. 23a	4. 92c	10. 69b	13. 78b
Spr. 1993	20. 25b	5. 19b	10. 86b	13. 65b
Sum. 1993	19. 38c	5. 41a	11. 77a	12. 78c
Aut. 1993	16. 72f	4. 86c	10. 32bc	14. 13a
Win. 1993	21. 30a	4. 85c	10. 41b	13. 67b
Spr. 1994	18. 62	5. 17b	10. 85b	13. 48b
Sum. 1994	71. 67e	5. 54a	11. 74a	12. 99c

*: means of 5 plants with four repicates;
**: means in each column followed by the same letter are not sinificantly different at 5 % level by LSD.

Table 5. Regression coefficient between composition of mulberry leaves and major climatic factors during the period of Jul. 1992-Jun 1994.

	Mean temperature	Rainfall	Solar radiation
Rainfall	0. 454ns		
Solar radiation	0. 817*	0. 712ns	
Crude protein	-0. 520ns	-0. 347ns	-0. 327ns
.Crude fiber	0. 017ns	0. 661ns	-0. 352ns
Crude fat	0. 803*	0. 024ns	0. 627ns
Ash	-0. 815*	-0. 436ns	-0. 778*

*, and ns: p＜0.05 and no significant, respectively (n＝8).

Table 6. Summarized result of multiple regression analysis for determining shoots growth of mulberry in major climatic a factors during the period of Jul. 1992-Jun. 1994.

Chemical composition of leaves	R	df	Regression equation 1)				Partial correlation coefficient		
			a	MT	RF	SR	Mt	RF	SR
Crude protein	0. 55	3, 4	23. 72	-0. 24	-2. 79	0. 13	-0. 69(98)	0. 74(7)	-0. 25(25)
	0. 54	2, 5	23. 82	-0. 26	--	0. 14	-0. 75(72)	--	-0. 29(28)
Crude fiber	0. 83	3, 4	11. 22	5. 05	0. 12	-0. 17	0. 31(18)	0. 65(39)	-0. 71(43)
	0. 65	2, 5	10. 41	0. 16	--	-0. 27	0. 95(18)	--	-1. 13(54)
Crude fat	0. 92*	3, 4	3. 73	8. 59	-3. 61	-3. 71	1. 40(59)	-0. 54(23)	-0. 42(18)
	0. 81	2, 5	3. 97	5. 43	--	-8. 80	0. 89(90)	--	-0. 10(10)
Ash	0. 85	3, 4	15. 50	-4. 94	-2. 96	-9. 02	-0. 36(35)	-0. 20(20)	-0. 45(45)
	0. 84	2, 5	15. 69	-7. 60	--	-6. 57	-0. 55(62)	--	-0. 33(38)

[1]: Y＝a＋bMT＋cSR; Y: chemical composition; MT: mean temperature; Sr: solar radiation;
*: p＜0.05.

Table 7. Average daily accumulated temperature after mulberry was pruned in four different seasons from autumn 1992 to Summer 1994

Harvest season	Average daily accumulated temperature
Aut. 1992	2254. 5
Win. 1992	1487. 1
Spr. 1993	2612. 6
Sum. 1993	1669. 2
Aut. 1993	2395. 2
Win. 1993	1626. 0
Spr. 1994	2625. 6
Sum. 1994	1620. 3

結　語

桑樹之成長以高溫多雨時旺盛，低溫少雨時遲滯，可由樹木年輪之形成，得知這種情形；而日照不足桑，其飼料價值有降低現象，蓋因所飼育之蠶兒，發育不齊而延遲，增加病體蠶兒，降低產繭質量乃爲不爭之事實。目前本省栽桑面積逐漸減少，惟明朝李時珍(1578)的「本草綱目」中提到「桑葉，味甘苦，怯寒，能散風熱，清肝明目」。近幾年，中外醫界臨床証實，已得出桑葉具有類似人參的補益與抗衰老的作用，因此桑葉生產在未來何嘗未有一番新氣象。

引用文獻

李秀、賴滋漢　1976　食品分析與檢驗。pp.151-237。精華出版社,台中。
湯興根、朱炳南、王靜江 1992 4至5月有效積溫預測春季桑葉產量。蠶業科學 19: 58-60。
大山勝夫 1972 桑の光合成の質生產。蠶絲科學と技術 11(8):58-61。
北浦澄 1974 桑品種の選擇。蠶絲科學と技術13(1):9-15。
尾暮正義 1988 地域. 用途に適應する優良桑品種。蠶絲科學と技術 27(4):2-5。
村上毅 1990 桑園の土壤管理。蠶絲科學と

技術 29(12):64-66。
南澤吉三郎 1976 栽桑學。pp.125-288。鳴鳳社。東京。
宮下榮紹 1970 異常氣象 葉質。蠶絲科學技術 9(7):6-10。
宮 義三 1970 桑とかんがい。蠶絲科學と技術 9(7):15-17。
高岸秀次郎、白田和人、川內郁緒 1985a 肥培にする土壤肥沃度の推移と桑の施肥感應に關する調查研究。蠶絲試驗場報告 30(1):19-63。
高岸秀次郎、白田和人、川內郁緒、渡邊喜二郎、堀江保密 1985b 桑葉葉質に及ぼす施肥要因の影響解析。蠶絲試驗場報告 30(1):65-79。
堀田禎吉 1951 桑編。pp.45-68。養賢堂,東京。
Shikata, M., M. Hoshino and T. Shinjo. 1984. Evaluation of the Okinawa shimaguwa mulberries and the Taiwan encouraging mulberries as a cultivated mulberry. J. Seric. Sci. Japan 53(2):151-155。
Shikata, M., M. Hoshino, T. Shinjo, T. Furusawa and L.S. Indrasith. 1985. Evaluation of growth and yield of tropical mulberry varieties. J. Seric. Sci. Japan 54(5): 366-373.
Yamamoto, M. 1985. Agronomic characters of mulberry varieties cultivated in south Sulawesi of Indonesia. Japan Agricultural Research Quarterly 19(1): 44-47.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 269-276, 1996

氣象因子及灌溉對盤固草生產力及乾草品質之影響

許福星 洪國源 鄭俊哲
臺灣省畜產試驗所飼作系

內 容

摘要……270
英文摘要……270
緒言……271
材料與方法……271
結果與討論……272
引用文獻……276

氣象因子及灌溉對盤固草生產力及乾草品質之影響

許福星　洪國源　鄭俊哲

臺灣省畜產試驗所飼作系

摘　要

盤固草(*Digitaria decumbens*)係一種多年生熱帶牧草，為本省栽培面積最廣的牧草品種，此牧草於春夏季生長旺盛，而秋冬季乾旱時，其生長呈停滯現象。本試驗研究目的在探討氣象因子及噴灌對盤固草銹病發生、生產力及調製乾草品質之影響，以供盤固草栽培管理之參考，期能提高牧草產量及改善牧草品質。盤固草地分為噴灌及不噴灌兩處理，噴灌區於乾旱季節施以噴灌，收刈時，調查其乾物產量及銹病發生百分比，並測定牧草粗蛋白質、P、K、Ca、及Mg等含量，也測定土壤成分，並根據氣象資料來探討氣象因子對盤固草生產之影響。經過五年試驗結果，得悉噴灌及未噴灌區乾物產量一年平均分別為27.3及22.2 mt/ha，噴灌可以增加乾物產量23.0％。於5-10月間之濕季，其青刈間隔日數平均為54.3天，有效積溫為773.5℃，而11月至翌年4月間之乾季，有噴灌者，其青刈間隔日數為119.2天，有效積溫為798.4℃，與濕季者相近，若未噴灌者，其青刈間隔日數長達181天，有效積溫為1409.8℃。噴灌區能提高牧草粗蛋白含量，但對P、K、Ca及Mg等含量則無影響。且噴灌不會影響土壤之化學成分，但噴灌會增加銹病發生之百分比。故盤固草於乾旱季節施以噴灌，有助於提高牧草乾物產量及粗蛋白質含量。

關鍵詞：盤固草、噴灌、氣象因子、生產力、品質

Effects of Climatic Factors and Irrigation on Productivity and Hay Quality of Pangolagrass

Fu-Hsing Hsu, Kuo-Yuan Hong and Chun-Che Cheng (Taiwan Livestock Research Institute, Hsinhua, Tainan, Taiwan, Republic of China)

Abstract：Pangolagrass (*Digitaria decumbens*) is a perennial tropical forage grass with the most widely grown in Taiwan. It grows vigorously in spring and summer and becomes dormant in autumn and winter. Objectives of this experiment were to determine effects of climatic factors and irrigation on occurrence of rust disease, productivity and hay quality of pangolagrass. It was expected to provide information for forage managennent to improve forage yield and quality of pangolagrass. Pangolagrass pasture was divided into irrigation and nonirrigation plots. Pangolagrass was irrigated for irrigation plot in drought season. Dry matter yield and occurrence percentage of rust disease were determined at harvest. The

contents of crude protein, P, K, Ca and Mg in plant were determined. The chemical composition of soil was also determined. Dry matter yields were averaged 27.3 and 22.2 mt/ha yearly for irrigation and nonirrigation, respectively. The irrigation plot produced more than 23.0 % dry matter as compared to nonirrigation plot. The averaged interval days between cutting were 54.3 days with degree-days 773.5℃ in wet season from May to October. For drought season from November to April, the averaged interval days between cutting were 119.2 days with degree-days 798.4℃ for irrigation plot, while those were 181.0 days with degree-days 1409.8 ℃ for nonirrigation plot. The degree-days between cutting for wet season and those for drought season with irrigation were similar. The content of crude protein in plant was increased after irrigation. No effect of irrigation was observed on contents of P, K, Ca and Mg in plant. The chemical compositions of soil were not affected by irrigation. However, the occurrence percentage of rust disease was enhanced by irrigation. It was concluded that forage yield and crude protein of pangolagrass could be increased with irrigation in drought season.

Key words：*Digitaria decumbens,* Irrigation, Climatic factor, Productivity, Forage quality.

緒　言

隨著國內經濟的發展，國人的生活水準也隨著提昇，對乳酪產品的消費量也逐年增加，且仍然有繼續提高的潛力，因此乳牛飼養頭數也逐年增加，對省產芻料之需求也隨著增加(Hsu，1994)，同時，酪農對芻料之品質也相當重視。

盤固草(*Digitaria decumbens*)係一種多年生熱帶牧草，為本省栽培的主要牧草品種之一，亦為稻田轉作牧草之主要品種(林，1989)，目前全省種植面積為6470 ha，約佔所有牧草栽培面積的三分之二(台灣農業年報，1995)。盤固草性喜高溫多濕及長日照的氣候，故其盛產期為每年五月至十月，每年可收刈三至五次。唯其生長、產量及品質頗受氣溫、日照及降雨量等氣象因素的影響，尤其夏季牧草生長旺盛時，適逢雨季，對田間機械作業及乾草調製影響很大，而於秋冬季乾旱季節牧草生長停滯，因盤固草之最低生長溫度為12.3 ℃(鄭及萬，1993)；且有露水時，易誘發銹病孢子之繁殖生長，故植株容易罹患銹病。因此本試驗研究的目的在探討氣象因子及灌溉對盤固草銹病發生、生產力及調製乾草之影響，以供盤固草栽培管理之參考，期能提高牧草產量及改善牧草品質。

材料與方法

本試驗以盤固草A254牧草地為試驗區，將牧草區分為灌溉與不灌溉兩處理，每小區0.8 ha，重複四次，田間設計採用RCBD設計。田間栽培管理參照盤固草之栽培管理方法為之。每年初春雨後每公頃施台肥二號複合肥料500 kg當基肥，每次青割後施尿素200 kg當追肥，每青割兩次後加施氯化鉀250 kg/ha 。

噴灌區除埋設噴灌管路外，及增設加壓幫浦，並裝置自動給水閥12座，使噴灌直徑達50 m，以資發揮噴灌功能，噴灌區於乾旱季節予以噴灌，每次噴灌40～80 mm，自79年11月28日至84年2月14日，前後共噴灌11次。試驗區並埋設水分張力計(soil moisture tension meter)，以測定土壤水分供噴灌作業之參考。

根據臺灣省畜產試驗所農業氣象站之資料，計算盤固草噴灌與未噴灌區的青刈間隔期間之有效積溫、日射量及降雨量，有效積溫之估算爲生育期間每日平均溫度減12.3℃後累加的溫度(鄭及萬， 1993)。牧草收刈時，測其乾物產量及牧草品質，如粗蛋白質、P、K、Ca及Mg等含量， 並取樣土壤測定pH 值及電導度，並分析其化學成分，如總氮、P、K、Ca、Mg及有機質含量。

化學分析方法如下：

1. pH：Glass electrode method (1:1)
2. 總氮量：Kjeldahl method
3. 磷：Modified Bray's No.1 method
4. 鉀、鈣、及鎂：N-neutral NH_4OAC extraction method
5. 有機質：Walkley-Black method

調查盤固草銹病百分比時，每區取樣盤固草20支，調查每葉的銹病病斑百分比，再求各葉百分比的平均，即爲該支的銹病罹病百分比。

結果與討論

圖1及2分別爲試驗期間五年之氣溫及降雨之平均，由圖1可知1月之氣溫最低，6-8月間最高;圖2則顯示6-8月間降雨最多，1-3月及10-12月間甚少降雨。表1所列者爲試驗期間之氣象資料及盤固草每次青割間之生育日數，根據表1的資料，可計算得知，盤固草於5-10月間之濕季，扣除因連續下雨，機械無法下田作業之期間外，其青割間隔日數平均爲54.3天，有效積溫爲773.5℃，這期間之降雨量平均爲297.7 mm，累積日射量爲924.7 MJ;而在每年11月至翌年4月間乾季，有噴灌者，其青刈間隔日數爲119.2天，有效積溫爲798.4℃，累積日射量爲1440.7 MJ，降雨量平均爲97.5 mm， 於這段乾旱季節有施以噴灌，因此縱使降雨量只有97.5 mm，其青刈間隔日數長達119.2天，但其有效積溫爲798.4℃，與在濕季生長期間之有效積溫相近。因此， 盤固草若在乾季

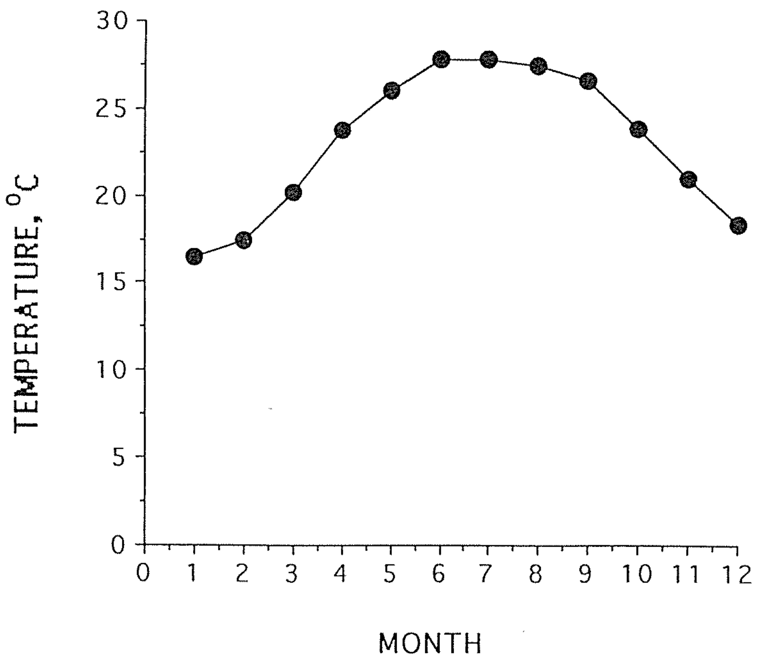


Fig. 1. Monthly averaged air temperatures at Hsinhua, Tainan from 1991 to 1995.

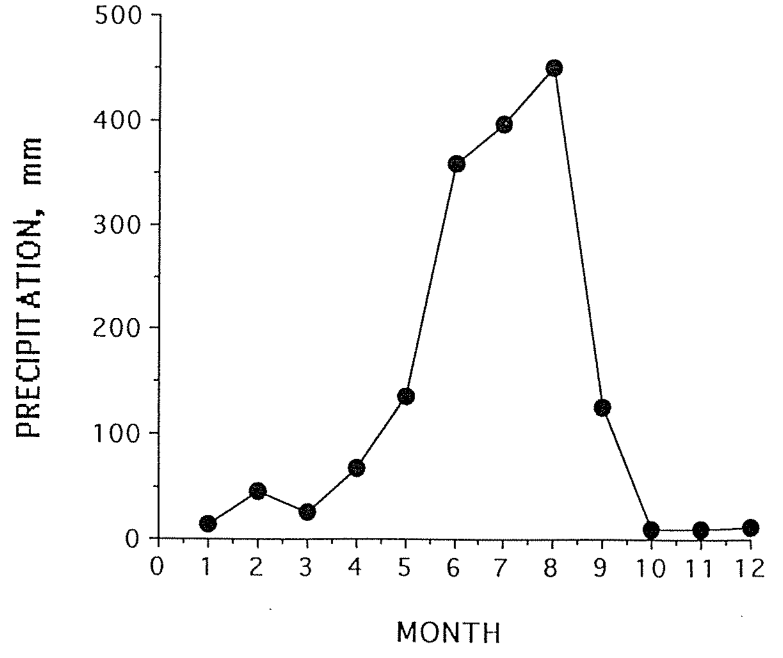


Fig. 2. Monthly averaged precipitation at Hsinhua, Tainan from 1991 to 1995.

施以噴灌，其有效積溫達750-800℃間，即可收刈。若於乾季不施以灌溉，則青刈間隔日數長達181天，有效積溫爲1409.8℃，其累積日射量高達2351.2 MJ。

於81年3月2日至7月18日，7月18日至11月17日及83年5月24日至10月26 日噴灌區的青刈間隔日數分別長達138、122及155天，這期間的累積降雨量分別爲1087、952及1869.5 mm，可見於雨季時，若連續降雨，曳引機無法下田進行牧草之收刈及調製乾草作業，故盤固草之乾草調製作業受天候之影響甚大。

表2所列者爲噴灌對盤固草產量及銹病發生之影響， 由表2可知，1991- 1995年五年的平均乾物產量噴灌區爲27.3 mt/ha，未噴灌者爲22.2 mt/ha ，兩者有顯著性差異，噴灌區比未噴灌者每年增加23.0％的乾物產量，若比較各年兩種處理的乾物產量得悉，除1991年與1993年外， 噴灌區與未噴灌區相較未達顯著性差異，可能與降雨量有關。因爲1991及1993年之年降雨量分別只有1638.5及1334.5 mm，故噴灌效果比1992及1994年有效，其年降雨量分別爲2187.5及2123.5 mm。Iwama et al. (1985)曾指出一次噴灌2 mm的效果比噴灌5或8 mm者能增加牧草產量，乃由於少量之噴灌能促進表土養分之分解，而有助於牧草養分之吸收。

由表2也可得知，噴灌處理反而顯著地增加銹病的發生率，可能由於乾季噴灌之後，盤固草生長較佳，莖葉較茂盛，於秋季露水較多時，若通氣不良，則易罹患銹病，在盤固草的廄肥試驗亦得到相似的結果(許等， 1994)。

盤固草噴灌後其粗蛋白質含量會增加，但其P、K、Ca及Mg等含量則不受影響(表3)。未噴灌區粗蛋白質含量較低的原因乃由於其青刈間隔日數較長，以致於影響粗蛋白質含量，因此盤固草於乾旱季節施以噴灌後，可縮短青刈間隔日數，有助於盤固草粗蛋白質含量之提高。

Table 1. Climatic data for the growth period between cutting of pangolagrass under irrigation and nonirrigation.

Cutting date	Treatment	Growth period (day)	Solar radiation (MJ)	Degree-day (℃)	Precipitation (mm)
80.3.27	Irrigation	119	1425.6	773.5	35.5
80.5.20	Nonirrigation	173	2319.3	1475.5	109.0
	Irrigation	54	893.7	702.0	73.5
80.7.13	Irrigation	54	1003.6	864.8	802.0
80.11.5	Nonirrigation	169	2658.0	2450.6	1479.0
	Irrigation	115	1654.4	1585.8	677.0
81.3.2	Irrigation	118	1400.2	689.7	184.5
81.7.18	Nonirrigation	253	3527.1	2408.8	1271.5
	Irrigation	138	2126.9	1682.2	1087.0
81.11.17	Nonirrigation	122	1823.4	1578.1	952.0
	Irrigation	122	1823.4	1578.1	952.0
82.4.16	Irrigation	150	1959.5	1018.1	63.0
82.5.20	Nonirrigation	184	2586.8	1414.6	112.0
82.7.5	Irrigation	80	1443.1	1148.3	699.0
82.9.7	Irrigation	64	1218.4	995.0	461.0
	Nonirrigation	110	2034.2	1685.3	1111.5
82.10.20	Irrigation	43	681.9	579.8	83.5
	Nonirrigation	43	681.9	579.8	83.5
83.1.31	Irrigation	103	1142.0	743.7	50.5
83.4.18	Irrigation	77	1042.2	590.0	105.5
	Nonirrigation	180	2184.2	1333.7	156.0
83.5.24	Irrigation	36	696.4	514.5	127.0
	Nonirrigation	36	696.4	514.5	127.0
83.10.26	Irrigation	155	1557.6	2219.6	1869.5
	Nonirrigation	155	1557.6	2219.6	1869.5
84.3.23	Irrigation	148	1674.4	975.4	62.5
84.5.1	Irrigation	39	640.2	440.1	49.0
	Nonirrigation	187	2314.6	1415.5	111.5
84.8.16	Irrigation	107	1617.4	1596.0	836.0
	Nonirrigation	107	1617.4	1596.0	836.0
84.10.20	Irrigation	65	820.6	943.7	86.5
	Nonirrigation	65	820.6	943.7	86.5

Table 2. Effect of irrigation on dry matter yield and rust disease percentage of pangolagrass.

Year	Dry matter yield (mt ha $^{-1}$)		Rust disease (%)		Total precipitation (mm)
	Irrigation	Nonirrigation	Irrigation	Nonirrigation	
1991	25.2^{a*}	12.5^{b}	——	——	1638.5
1992	29.2^{a}	24.6^{a}	9.0^{a}	8.2^{a}	2187.5
1993	23.7^{a}	15.2^{b}	1.5^{a}	1.0^{a}	1334.5
1994	31.2^{a}	27.5^{a}	14.1^{a}	8.4^{a}	2123.5
1995	27.3^{a}	31.0^{a}	23.1^{a}	3.6^{b}	1024.0
Mean	27.3^{a}	22.2^{b}	11.9^{a}	5.3^{b}	

* Means with the same letter under the same item within the same year are not significantly different at 5% level.

Table 3. Effect of irrigation on forage quality of pangolagrass.

Cutting date	Treatment	Crude protein (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
81.7.18	Irrigation	5.4^{a*}	0.16^{a}	0.24^{a}	0.33^{a}	0.14^{a}
	Nonirrigation	3.5^{b}	0.13^{a}	0.24^{a}	0.35^{a}	0.12^{b}
81.11.7	Irrigation	4.3^{a}	0.13^{a}	0.21^{a}	0.19^{a}	0.16^{a}
	Nonirrigation	3.4^{b}	0.12^{a}	0.17^{a}	0.18^{a}	0.12^{a}
82.9.7	Irrigation	4.2^{a}	0.15^{a}	0.28^{a}	0.17^{a}	0.13^{a}
	Nonirrigation	2.9^{b}	0.13^{a}	0.18^{b}	0.16^{a}	0.09^{b}
83.4.18	Irrigation	6.6^{a}	0.15^{a}	0.98^{a}	0.17^{a}	0.12^{a}
	Nonirrigation	6.2^{a}	0.13^{a}	0.82^{b}	0.16^{a}	0.09^{b}
83.10.19	Irrigation	3.7^{a}	0.14^{a}	0.65^{a}	0.15^{a}	0.19^{a}
	Nonirrigation	2.9^{a}	0.13^{a}	0.64^{a}	0.11^{a}	0.12^{a}
84.5.4	Irrigation	6.0^{a}	0.22^{a}	0.87^{a}	0.23^{a}	0.34^{a}
	Nonirrigation	3.1^{b}	0.25^{a}	0.46^{b}	0.26^{a}	0.17^{b}
84.8.16	Irrigation	4.5^{a}	0.17^{a}	0.55^{a}	0.28^{a}	0.24^{a}
	Nonirrigation	3.8^{a}	0.16^{a}	0.49^{a}	0.24^{a}	0.20^{a}
84.10.20	Irrigation	7.4^{a}	0.17^{a}	0.67^{a}	0.35^{a}	0.35^{a}
	Nonirrigation	7.0^{a}	0.17^{a}	0.53^{a}	0.29^{a}	0.25^{a}
Mean	Irrigation	5.3^{a}	0.16^{a}	0.55^{a}	0.23^{a}	0.21^{a}
	Nonirrigation	4.1^{b}	0.15^{a}	0.45^{b}	0.22^{a}	0.14^{a}

* Means with the same letter under the same item within the same cutting date are not significantly different at 5% level.

Table 4. Effect of irrigation on chemical composition of soil for pangolagrass pasture.

Sampling date	Treatment	pH	Total nitrogen (%)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Organic matter (%)	Electric conductivity (mmhos cm^{-1})
81. 12. 7	Irrigation	5. 0[a]*	0. 10[a]	3. 48[a]	58. 0[a]	425. 4[a]	85. 8[a]		
	Nonirrigation	5. 1[a]	0. 09[a]	4. 47[a]	156. 9[a]	206. 1[a]	34. 4[a]		
83. 5. 9	Irrigation	5. 7[a]	0. 09[a]	2. 55[a]	67. 1[a]	627. 5[a]	70. 1[a]	2. 44[a]	0. 26[a]
	Nonirrigation	5. 3[a]	0. 08[a]	1. 59[a]	51. 3[a]	83. 7[a]	42. 9[a]	1. 97[a]	0. 25[a]
84. 10. 20	Irrigation	4. 8[a]	0. 10[a]	3. 79[a]	49. 3[a]	633. 6[a]	152. 5[a]	2. 19[a]	
	Nonirrigation	4. 7[a]	0. 09[a]	4. 78[a]	44. 9[a]	323. 5[a]	18. 8[a]	2. 10[a]	
Mean	Irrigation	5. 1[a]	0. 10[a]	3. 27[a]	58. 1[a]	562. 2[a]	102. 8[a]	2. 31[a]	0. 26[a]
	Nonirrigation	5. 0[a]	0. 09[a]	3. 61[a]	84. 4[a]	204. 4[a]	32. 0[b]	2. 03[a]	0. 25[a]

* Means with the same letter under the same item within the same sampling date are not significantly different at 5% level.

盤固草地噴灌後其土壤pH值、有機質、總氮、P、K及 Ca 增加(表4)。Iwama et al. (1985)指出，灌溉會增加牧草養分之吸收能力，故導致牧草地土壤之養分因灌溉後而迅速降低。

由以上結果可知，盤固草於秋冬季乾旱季節施以噴灌後，確可縮短青刈間隔日數，雖然其青刈間隔日數仍比濕季生育期間的青刈間隔日數為長，但其有效積溫與濕季者相近，因此在不缺水的情況下，有效積溫乃可供作為牧草青刈時期的適當指標。同時，在本省南部地區，於秋冬季乾旱季節若盤固草地能施以灌溉，仍能獲得牧草產量，以彌補秋冬季草源之不足。

後誌：本研究報告為台灣省畜產試驗所研究報告第710號。

引用文獻

林路拾 1990 臺灣牧草推廣之現況。臺灣牧草研究研討會專集。 pp. 27-32。

許福星、洪國源 1994 廄肥對狼尾草與盤固草產量及化學成分之影響。臺灣省政府農林廳畜產試驗評議會八十三年度試驗研究報告。pp. 19-38。

臺灣農業年報 1995 臺灣省政府農林廳編印。

鄭鑑鏘、萬鑫森 1993 臺灣牧草地土壤沖蝕一生產力指數之推估應用。中華農學會報新 161：47-61。

Hsu, F. H. 1994. Case studies on crop-livestock production systems in Taiwan ROC in relation to technical socioeconomic and enviromental concerns. Proceedings International Seminar on Upland Farming Systems and the Role of Livestock Production. pp. 135-150.

Iwama, H., J. Watanabe, and K. Ogawa. 1985. Effect of irrigation on pastures on heavy clay soil in Hokkaido. JARQ 19(3)：159-165。

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 277-285, 1996

氣象因子對不同地區小白菜生育之影響

翁仁憲[1]、漆匡時[2]、許苑培[3]、戴振洋[4]、郭孚燿[4]、林文助[5]、楊文振[6]、陳任芳[7]
國立中興大學植物學系[1]、農業試驗所[2]、桃園區[3]、臺中區[4]、臺南區[5]、高雄區[6]、花蓮區[7]農業改良場

內 容

摘要……278
英文摘要……278
前言……279
材料與方法……279
結果與討論……279
誌謝……285
引用文獻……285

氣象因子對不同地區小白菜生育之影響

翁仁憲[1]、漆匡時[2]、許苑培[3]、戴振洋[4]、郭孚燿[4]、
林文助[5]、楊文振[6]、陳任芳[7]
國立中興大學植物學系[1]、農業試驗所[2]、桃園區[3]、臺中區[4]、
臺南區[5]、高雄區[6]、花蓮區[7]農業改良場

摘　　要

本研究由中興大學、農試所、桃園場、台中場、台南場、高雄場、花蓮場等機構合作進行，使用小白菜二品種，其中鳳山白菜爲共通材料，另一品種則由執行機構自行決定，各機構均使用相同的方法，五月至十月每月播種一次，探討氣象因子對其生育之影響，自1993年起至1995年爲止連續進行三年。結果顯示氣溫及降雨量對白菜生長之影響最大，其中氣溫之影響屬拋物線之形式，過高溫或過低溫均不利於白菜之生長，生長適溫約在25℃左右。而降雨量對白菜生長則是負的影響，降雨量愈大則其生長速率愈低，其中以三日間之合計雨量影響最大，每增加100 mm，則鳳山白菜之生長速率約降低20%。而生育期間平均降雨量之影響次之，單日降雨量之影響又次之。

關鍵詞：蔬菜，小白菜，生育，氣象因子，氣溫，日射量，降雨量。

Effects of Climatic Factors on the Growth of Pak-choi

Jen-Hsien Weng et. al (Department of Botany, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC)

ABSTRACT: Effects of climatic factors on the growth of pak-choi (*Brassica chinensis*) were studied from 1993 to 1995 in Taoyuan, Wuffng, Changhua, Tainan, Pingtung and Hualien areas. It was found that fresh weight growth rate of pak-choi was most influenced by the air temperature and rainfall. The optimum air temperature in pak-choi growth was about 25℃. And the growth rate was decreased with increasing of rainfall, especially the maximum amount rainfall of 3 days in the growth period of pak-choi. The decrease rate was about 20% 100 mm^{-1}.

Key words: Climatic factors, Temperature, Rainfall, Solar radiation, Vegetable crop, Pak-choi.

前　　言

蔬菜爲國人生活中不可或缺之必需品，亦爲臺灣重要產業，且因葉菜類本身不耐運貯，將來在加入GATT之後，所受衝擊較小，更將扮演農業生產中重要之角色。蔬菜生產易受環境因子之影響，影響台灣蔬菜生產之因素有許多，但最重要的干擾因素則是來自於氣候環境，尤其在夏季時，天氣變化極爲劇烈，使蔬菜生產處於極不穩定之環境下，常因災變氣候影響而造成農業生產極大之損失，尤以葉菜供需衝擊最大，往往造成社會紛擾不安及政府決策之困擾。因此如何有效利用氣象資源，維持正常供需，是爲政府政策及全民所共同追求之目標。基於此點，乃聯合各場所，使用相同之材料及方法，進行氣象因子對葉菜類生育相關性之研究，以建立周延之氣象與適栽資料，做爲栽培管理之依據，及政府決策、市場供需調節預警參考。自1993年起，首先以小白菜爲對象進行研究，至1995年爲止已連續進行三年，茲將結果報告於後。

材料與方法

本研究由中興大學、農試所、桃園場、台中場、台南場、高雄場、花蓮場等機構合作進行，使用小白菜(*Brassica chinensis*)二品種，其中鳳山白菜(農友種苗公司)爲共通材料，另一品種則由執行機構自行決定，各機構均使用相同之方法，原則上從五月至十月每月播種一次。試區四重複，共八畦，每畦面積1.2×5.0 m²，週邊設保護行。每十公畝種子量50 g，每畦播種量最多10 g，採撒播方式。發芽後行間拔，使株距維持在10～15 cm左右，基肥每十公畝施用堆肥1500 kg，過磷酸鈣45 kg，氯化鉀10 kg。發芽後至播種後約28日採收調查爲止，每週追肥一次，每次各施用尿素5, 15及10 kg。在白菜生育期間注意小菜蛾、黃條葉蚤、粉白蝶及立枯病之防治。並注意保持土壤濕潤，及注意排水，以防積水。調查項目包括小區產量(鮮重、乾重)，株高，葉數，葉面積比(LAR)等。氣象資料則採用設於各場所之一級農業氣象測站所測得者。由於各場所，甚至同場所之白菜生育日數並未完全一致，故本次報告僅以鳳山白菜之鮮重生長速率(採收時鮮重/生育日數)部份加以探討。

結果與討論

圖1至圖6顯示出各場所在三年間，鳳山白菜之鮮重生長速率(以下簡稱生長速率)

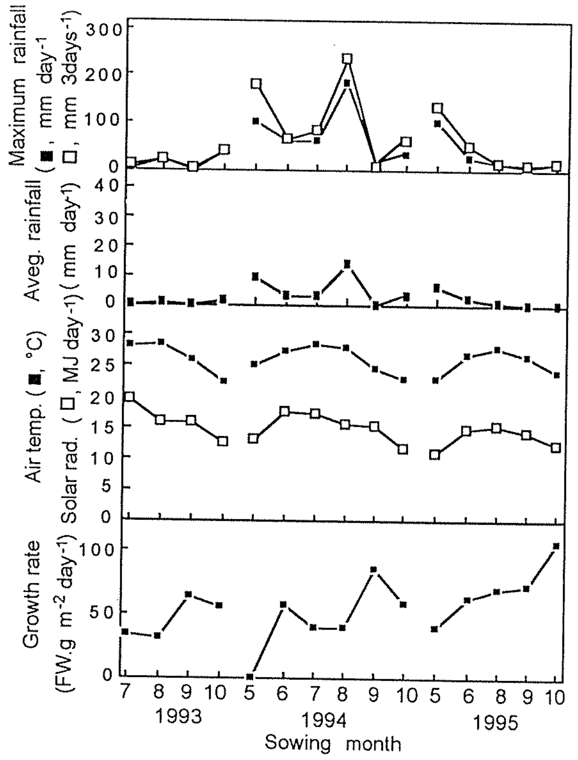


Fig. 1. The maximum rainfall of one day and amount of 3 days rainfall, average of rainfall, air temperature and solar radiation of growth period (sowing to harvest, about 28 days) and fresh weight growth rate of pak-choi in Taoyuan area.

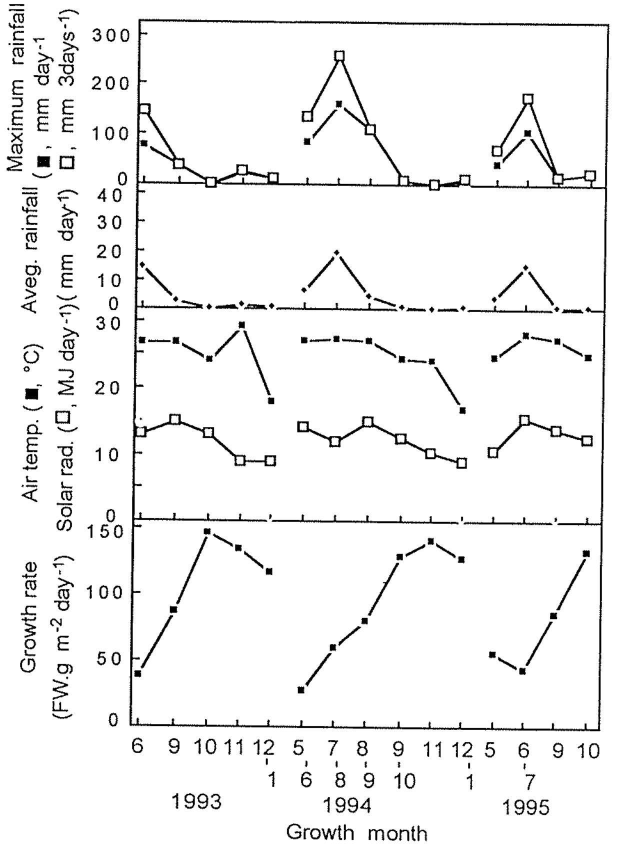


Fig. 2. The maximum rainfall of one day and amount of 3 days rainfall, average of rain-fall, air temperature and solar radiation of growth period (sowing to harvest, about 28 days) and fresh weight growth rate of pak-choi in Wuffng area.

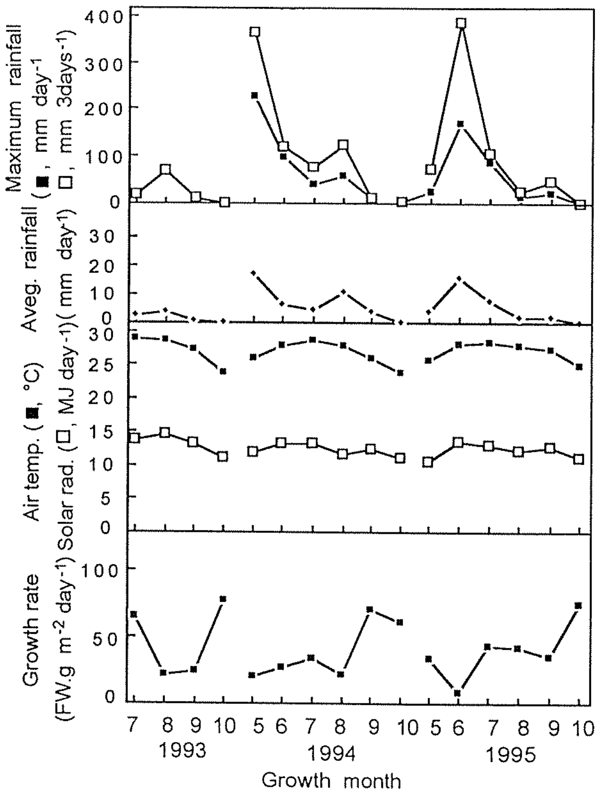


Fig. 3. The maximum rainfall of one day and amount of 3 days rainfall, average of rain-fall, air temperature and solar radiation of growth period (sowing to harvest, aabout 28 days) and fresh weight growth rate of pak-choi in Changhua area.

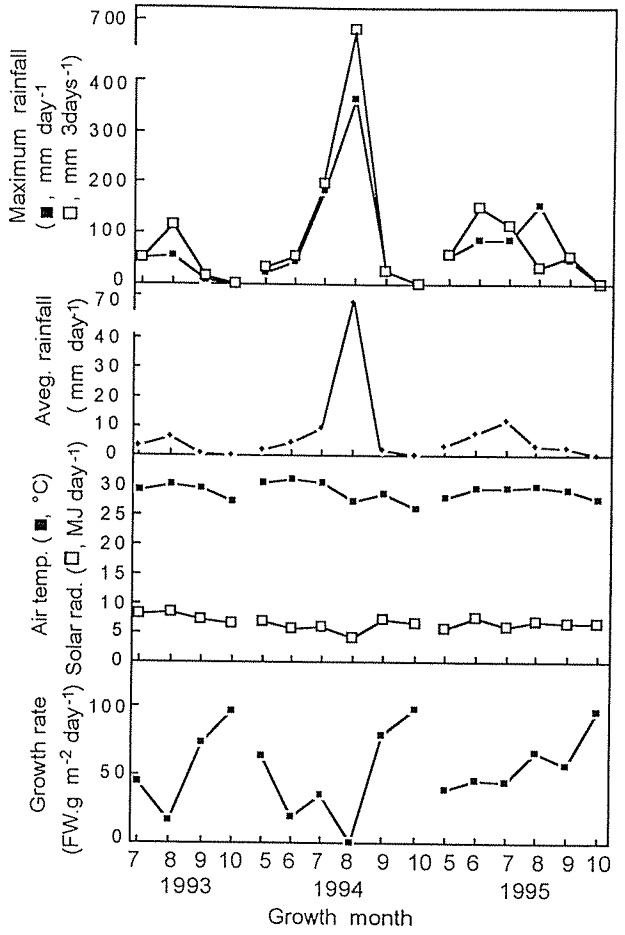


Fig. 4. The maximum rainfall of one day and amount of 3 days rainfall, average of rain-fall, air temperature and solar radiation of growth period (sowing to harvest, about 28 days) and fresh weight growth rate of pak-choi in Tainan area.

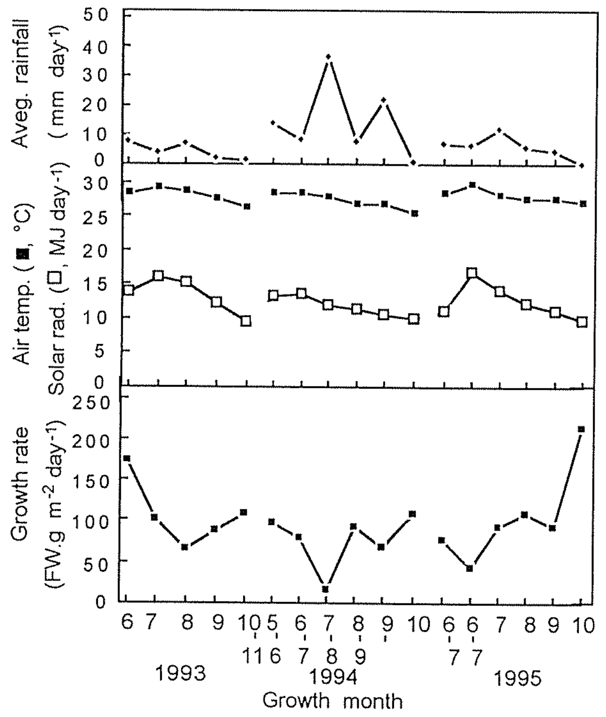


Fig. 5. The average of rainfall, air temperature, solar radiation of growth period (sowing to harvest, about 28 days) and fresh weight growth rate of pak-choi in Pingtung area.

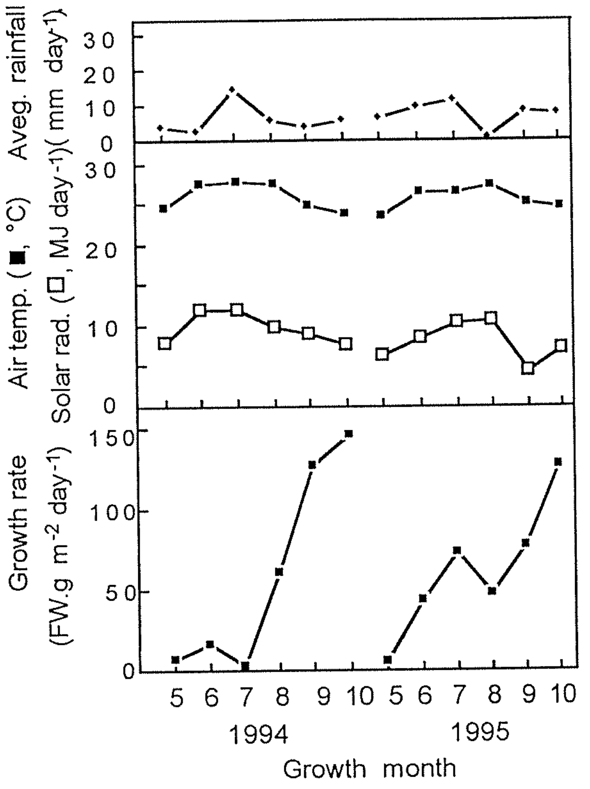


Fig. 6. The average of rainfall, air temperature, solar radiation of growth period (sowing toharvest, about 28 days) and fresh weight growth rate of pak-choi in Hualien area.

及氣溫、日射量、降雨量等氣象資料。由圖中可看出，在各場所，鳳山白菜之生長速率均隨季節而有很大之差異，大致係以夏季較低，秋季較高。為了瞭解氣溫、日射量及降雨量等氣象因子對鳳山白菜生長速率之影響程度，在此進行單相關及複迴歸分析，其結果如表1所示。從複迴歸分析之結果中，發現農試所、桃園場、台中場、台南場等四個場所鳳山白菜之生長速率與氣溫、氣溫之平方、日射量及降雨量間呈顯著之複迴歸關係(P<0.01～0.05)，再從其標準淨迴歸係數之大小觀之，發現鳳山白菜之生長速率受氣溫及其平方之影響最大，表示氣溫之影響屬拋物線之形式，過高溫或過低溫均不利於白菜之生長，此點符合環境生理學之規律(Fitter and Hay, 1981)。唯高雄及花蓮兩場之結果，除高雄場之鮮重生長速率與降雨量間呈顯著之負相關外，其餘之相關關均不顯著(表1)。

Table 1. Summarized results of multiple and single regression analysis of fresh weight growth rate of pak-choi(Y), air temperature (T), solar radiation (S) and the average of rainfall (RF) in growth period (sowing to harvest, about 28 days) in difference areas.

Area	R	df	Partial correlation coefficient				Single regression coefficient		
			T	T^2	S	RF	T	S	RF
Taoyuan	0.822*	4, 9	20.64 (49)	-20.85 (50)	-0.20 (0.4)	-0.28 (0.6)	-0.40	-0.34	-0.44
Wuffng	0.866**	4, 10	5.18 (44)	- 6.03 (52)	0.28 (2.4)	-0.17 (1.4)	-0.69**	-0.54*	-0.72**
Changhua	0.814*	4, 11	-14.97 (50)	14.46 (48)	0.01 (0.3)	-0.42 (1.3)	-0.54*	-0.31	-0.67**
Tainan	0.834*	4, 10	2.88 (43)	- 3.39 (50)	-0.04 (0.5)	-0.44 (6.4)	-0.75**	0.02	-0.70**
Pingtung	0.628	4, 12	10.81 (48)	-10.45 (47)	-0.58 (2.6)	-0.59 (2.6)	-0.24	-0.12	-0.53*
Hualien	0.591	4, 7	16.02 (46)	-17.38 (50)	0.91 (2.6)	0.26 (0.7)	-0.41	-0.31	-0.10

** and *: P<0.01 and P<0.05, respectively.

翁(1995)在溫室內以水耕栽培鳳山白菜，發現其生長速率與氣溫間呈拋物線關係，生長最適溫約在25℃，而在氣溫固定時，則生長速率隨日射之升高而增加。林等(1995)先就桃園場1993～1994兩年之結果加以檢討，亦發現無論鳳山白菜或地方品系之改良種，其生長適溫均在25℃附近。從圖7A可看出，桃園場1993～1995三年之結果再度顯示鳳山白菜在25℃之生長速率最高。而農試所之結果則顯示，在統計上，鳳山白菜之生長適溫在21℃左右，唯以目測判斷則發現其在25℃之生長速率最高(圖7B)。造成此種差異之原因，可能係因為試驗次數過少所致，尤其是在低氣溫之季節。而台中場及台南場均在超過白菜生長適溫之高溫下進行試驗，其生長速率隨氣溫之升高而降低，在單相關分析中亦顯示兩者之間呈顯著之負相關(表1，圖7C，圖7D)。

另由表1可看出，在複迴歸分析中，發現鳳山白菜之生長速率受到日射量及降雨量之影響很小，唯從圖1至圖6中發現，在降雨量較大時，鳳山白菜之生長速率有變小之趨勢，在單相關分析中亦顯示生長速率與降雨量兩者之間呈負相關，其中有三個場所達到顯著水準(表1)。為了再檢討降雨量對鳳山白菜生長速率之影響情形，在此利用式(1)算出各場所之鳳山白菜實測生長速率(GR)與理論生長速率(GRe)之差距百分率(GRd)。

$$GRd = (GRe-GR)/GR \times 100\% \quad (1)$$

由表1之複迴歸分析中可看出，鳳山白菜之生長速率主要是受到氣溫之影響，所以本研究便利用圖7所示之生長速率與氣溫間之迴歸方程式，將各場所各次白菜生長期間(播種至收穫)之平均氣溫代入算得GRe。其中，農試所、桃園場及台南場等場所均使用二次

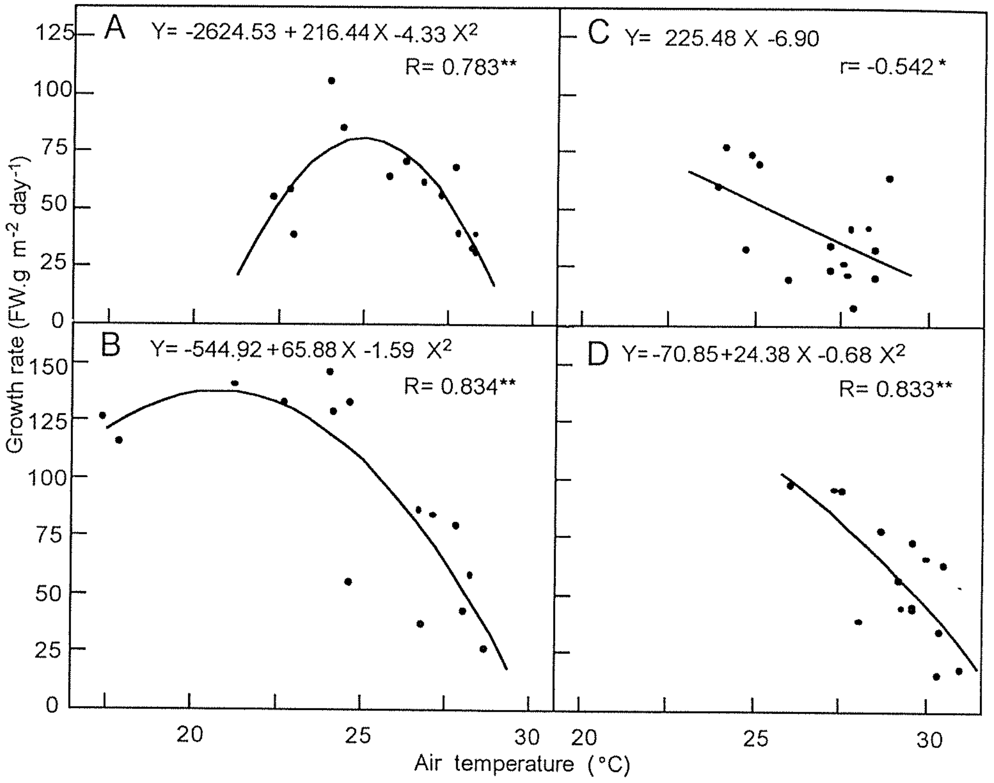


Fig. 7. The relationships between fresh weight growth rate of pak-choi and air temperature in Taoyuan (A), Wuffng (B), Changhua(C) and Tainan (D) areas.

式，台中場因其二次式不符合生物學之原理，改使用一次式。而高雄場及花蓮場因其迴歸關係不顯著無法從氣溫推算其GRe。所以GRe便是只考慮氣溫影響之理論生長速率，利用其與實測生長速率之差值與降雨量間作相關分析，便可知悉降雨量對鳳山白菜生長之影響。

圖8顯示GRd與降雨量之關係。由圖中可看出，GRd隨降雨量之增加而降低，其中以白菜生長期間之連續三日合計最大降雨量之相關係數最高，平均降雨量次之，單日之最大降雨量又次之。以上結果顯示，降雨量對白菜生長是負的影響，降雨量愈大則其生長速率愈低，其中影響最大的就是白菜生長期間之連續三日合計最大降雨量，其次是平均降雨量，再其次是單日之最大降雨量。由迴歸方程式可看出，連續三日合計最大降雨量每增加100 mm，則鳳山白菜之生長速率約降低20%。

翁(1994 a, b)指出在氣溫固定時，鳳山白菜之生長速率隨日射之升高而增加。但在表1之複迴歸分析中卻顯示鳳山白菜之生長速率受到日射量之影響很小，單相關係數亦大都不顯著。造成此差異之原因可能是翁(1994 a, b)之試驗係在溫室內進行，其透光率只有50%左右，因光度較低所以增加光度可促進其生長所致。

本研究為國內首創，使用共通材料、共同之方法進行之群體計劃，歷經三年已有初步結果。唯尚有一些問題需要解決，其一即是各場所得到之生長速率並不相同，其中以農試所及高雄、花蓮等場之值較高，桃園及台中兩場之值較低，台南場則居中。此外，生長速率與氣溫間迴歸線亦有差異，尤其是桃園場，在過高或過低溫時，其迴歸線之斜率特別大。就以

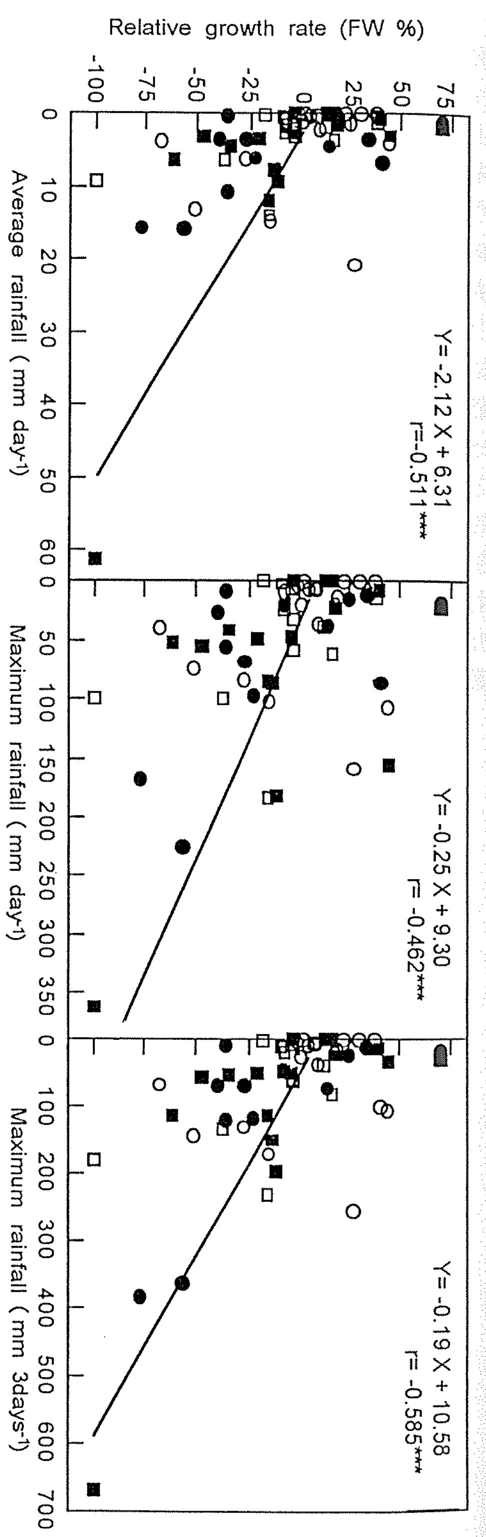


Fig. 8. The relationships of relative growth rate[1] and average, the maximum rainfall of one day and 3 days in growth period (sowing to harvest, about 28 days) of pak-choi in Taoyuan (□), Wufng (○), Changhua(●) and Tainan (■) areas. 1: Estimated from the equation GRd=(GRe-GR)/GR × 100% (GR: fresh weight growth rates; GRe: estimated growth rates from the equations shown in Fig. 7).

上事實考量，不同場所之數據便難以合併分析。各場所單獨分析便發生取樣點不夠多之情形，使得準確度降低。另外，當初之著眼點係在夏季蔬菜之生產，故試驗季節定在五月至十月，結果發現，除了北部之桃園場因溫度較低，農試所在冬季仍繼續進行試驗外，其餘場所均在超過白菜生長適溫之高溫下進行試驗，難以獲得完整的白菜生長適溫資料。為了彌補以上兩個缺點，有必要再繼續進行試驗，特別是低溫季節之生長資料。

造成各場所白菜生長速率相異之原因有可能是土壤因素，也可能是管理方法不同所致，此點有待進一步之檢討。此外某些場所尚發生未完全依照共同之方法進行試驗，或管理方法前後不一致之情事，致使資料無法分析，此點也值得改進。

誌　　謝

本研究承農委會83農建-2.10-企-01, 84科技-1.11-企-03 及85科技-1.11-糧29(1) 計劃補助經費, 謹致謝忱。

引用文獻

林孟輝、許苑培、張學琨 1995 氣象因子對桃園地區小白菜生育之影響。中華農業氣象 2:121-128。

翁仁憲 1994a 玻璃溫室微氣候對水耕蔬菜生育之影響。中華農業氣象 1:35-39。

翁仁憲 1994b. 農業氣象之研究法。pp.41-60. 楊純明等編著，中華農業氣象學會。

Fitter, A. H. and R. K. M. Hay. 1981. Environmental physiology of plants. pp. 171-178. Academic Press, New York.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 287-296, 1996

氣象因子對水稻生育量及產量評估技術探討

羅正宗 陳一心
臺灣省農業試驗所嘉義農業試驗分所

內 容

摘要……288
英文摘要……288
前言……289
材料與方法……289
結果……289
討論……295
引用文獻……295

氣象因子對水稻生育量及產量評估技術探討

羅正宗　陳一心
臺灣省農業試驗所嘉義農業試驗分所

摘　要

本試驗利用嘉南地區水稻栽培面積最上位的兩個品種，臺梗二號及臺梗八號與全省栽培面積最廣的台農67號爲參試材料，於1994年二期作及1995年一、二期作在溪口及新港兩地進行氣象因子與水稻生育量及產量間相互關係之探討。試驗結果發現水稻葉片生長(抽出)所需累積溫度，於幼穗分化前之營養生長期遠較幼穗分化後之生殖生長期爲低，即營養生長期葉片抽出速率較快，此顯示水稻體質轉變前後之葉片生長速率不相同。大體而言，各品種在一期作或二期作發育至幼穗分化期或抽穗期所需累積溫度均相當；一期作達到有效分蘗終期之累積溫度較二期作爲低，但達到最高分蘗期之累積溫度在兩期作則無太大差異，一期作之有效分蘗數雖較二期作高，但或由於一期作有效分蘗終期至最高分蘗期之累積溫度較二期作爲高，其無效分蘗數亦較高。

關鍵詞：氣象因子、水稻、生育、產量。

The Effect of Agro-meteorological Factors on the Evaluation of Rice Growth and Grain Yield

Jeng-Chung Lo and Yi-shin Chen (Department of Agronomy, Chiayi, Experiment Station, Taiwan Agricultural Research Institute, Taiwan, ROC)

ABSTRACT: The objective of this research was to evaluate the relationship between agro-meteorological factors and rice growth and grain yield. The field experiment were conducted using three cultivars TK2, TK8 and TNG67 in three crop seasons at two locations. The results indicated that the thermal unit model using temperature accumulation was stable estimation than calender days for predicting rice growth stage at different crop seasons and locations. The accumulated temperature required to reach panicle initiation and heading were similar in different crop seasons in different locations. Therefore, the precision of the temperature function maybe helpful for evaluate the objective of this research, but further experimental efforts is necessary to identify the growth stage of rice.

Key words: Agro-climatic factors, Rice, Growth and development, Yield.

一、前　言

國內農作物生產現況，水稻雖是缺乏競爭能力的產業，但稻米之供應充足與否，對民生及社會安定具有一定影響，而且，未來台灣加入世界貿易組織(WTO)之後，農業所面臨的壓力甚大，政府再三宣示爲了照顧廣大稻農，將水稻列入重點保護產業，期以安定國內水稻生產供應，以應不時之需。於糧食生產政策上除加强稻米的品質之途徑外，在量的方面，對國內水稻生產量估測工作亦頗爲重視。爲了落實國內水稻生產政策對生產量的掌控相當重要，因而建立水稻產量預測及評估技術而獲得一定時期國內生產量資訊是非常必要的，評估技術之建立需以水稻生育與氣候間互動影響的理念爲根基，確實掌握全年國內水稻生產量資訊接近實際情況，利用水稻生育量及產量與氣象變數間的函數關係，爲首要工作任務與目標。

瞭解氣象變數對作物生長發育的影響，從而建立作物生育量及產量的預估模式是作物及氣象科學研究上重要的目標之一。在美國，重要的糧食作物如玉米、大豆及小麥等作物，目前均已發展出具有相當良好預測能力的產量估計模式(孔，1989)。水稻是本省最重要的作物, 日本亦已發展出水稻產量的預估模式(Horie *et al*., 1992)。過去國內雖有若干學者嘗試建立台灣地區水稻產量的估計模式，如郭(1980)，何(1980)，沈(1983)及李(1990)等，惟這些模式仍未發展至實用階段, 在氣象異常年時預測能力仍嫌不足。

水稻產量的形成是由於一系列相承發育的產量構成因素之生長過程，此循一定發育順序的生長過程均受當時之生長環境所影響，氣象變數並非直接影響產量，是在不同生育階段透過對產量構成因素的影響而間接影響產量(鄔，1979)。因此，若欲由氣象變數來建立水稻產量的預估或估測模式，應先瞭解水稻產量構成因素的發育過程，及不同階段各生育量與氣象變數間的關係，尋求影響各構成因素之生長、發育的主要氣象變數與時期，才能建立預估能力較高的模式(李，1990)。

二、材料與方法

1. 參試品種：

利用嘉南地區水稻栽培面積最上位的品種，台梗2 號與台梗8號及全省栽培面積最廣的品種台農67號爲參試材料。

2. 試驗時期、地點與方法：

於1994年二期作及1995年一期及二期作，於本分所溪口試驗農場及新港一篤實農家進行試驗，依一般機插生產作業方式，多本植, 行株距30x18cm。

3. 調查方法：

於每品種田圃中依對角線分法選取六點，以每一點之選株爲中心，周圍25株爲調查對象，於插秧後立即調查，而後每週調查一次，調查項目爲葉齡，分蘗數及株高，及至收穫期，調查單位面積(每平方公尺)之產量及產量構成因素，並自插秧開始，於本分所溪口試驗農場二級氣象站與新港試區之氣象儀器所蒐集的氣象資料，包括每日最低溫、最高溫、日均溫、兩量、日照時數，以旬爲單位，作爲探討水稻生長發育與氣象變數間的關係之用。

三、結　果

(一)、水稻不同生育階段的生育量之變化

表一至表三爲三個期作在新港及溪口兩地所調查之各參試品種的葉齡指數(LNI)，單位面積分蘗數(m^{-2})與累積溫度間的關係，累積溫度爲每日日均溫之累積，葉齡指數爲水稻不同生育階段生長抽出之葉齡除以全生育期之總葉數，結果顯示各品種之葉片抽出速率於幼穗分化期爲分界，即營養生長期與生殖生長期各有所不同，即幼穗分化之前的營養生長期葉片抽出所需之累積溫度較幼穗分化之後的生殖生長期爲低，

且各品種在各期作中均有此現象，此顯示水稻體質轉變前後之葉片生長速率不相同。另就各品種在不同期作中，發育至幼穗分化所需之累積溫度的變化觀察結果，顯示三個品種之間彼此不同，兩期作水稻發育至幼穗分化期所需的累積溫度各品種於兩地區均相近，即不同期作間至幼穗分化為止所累積溫度二期作較一期作為低，但是不論一期作或二期作，兩個地區三品種的累積溫度相當。至於決定單位面積穗數的時間，也就是有效分蘗終期，其所需累積溫度而言，一期作(880)較二期作(930)略低，但達到最高分蘗期所需之累積溫度，一期作(1320)則較二期作(1150)為高；由有效分蘗終期至最高分蘗期間的分蘗數為無效分蘗，而由有效分蘗終期發育至最高分蘗期之累積溫度，一期作約為440較二期作之220為高，相對地一期作之無效分蘗亦較二期作為高。

Table 1. The relationship between leaf number index (LNI) and tiller number (m^{-2}) and growing degree day (G.D.D.) on three rice cultivars at two locations for 2nd crop, 1994.

Location	TK2		TK8		TNG67		G.D.D.
	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	
	0.24	74.08	0.22	100.0	0.23	74.08	0
	0.28	74.08	0.27	100.0	0.27	74.08	169.4
	0.39	79.64	0.37	103.7	0.38	74.08	321.8
	0.53	116.7	0.52	144.5	0.52	140.8	555.4
	0.64	172.2	0.63	196.3	0.62	222.2	736.0
Sinkang	0.72	259.3	0.75	293.2	0.72	292.6	938.0
	0.79	341.1	0.81	322.3	0.80	370.4	1103.9
	0.84	360.4	0.85	344.5	0.85	385.2	1216.5
	0.90	340.4	0.92	333.4	0.90	381.5	1395.3
	0.97	320.4	0.97	300.0	0.97	362.9	1563.3
	1.00	318.2	1.00	294.2	1.00	340.2	1660.2
	TK2		TK8		TNG67		G.D.D.
	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	
	0.25	55.6	0.24	107.4	0.24	103.7	0
	0.31	55.6	0.30	107.4	0.31	103.7	273.2
	0.46	88.9	0.42	111.1	0.46	129.6	511.2
	0.60	148.2	0.58	229.7	0.61	240.8	779.5
Shiko	0.69	163.0	0.71	222.2	0.70	248.2	957.6
	0.78	244.5	0.79	296.3	0.78	337.1	1132.3
	0.85	251.9	0.86	296.3	0.86	333.4	1321.9
	0.90	248.2	0.91	277.8	0.92	318.5	1487.0
	0.96	240.8	0.97	261.9	0.97	288.9	1665.7
	0.99	231.4	1.00	261.9	1.00	284.1	1744.7

Table 2. The relationship between leaf number index (LNI) and tiller number (m^{-2}) and growing degree day (G.D.D.) on three rice cultivars at two locations for 1st crop, 1995.

Location	TK2		TK8		TNG67		G.D.D.
	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	
	0.18	103.7	0.18	100.0	0.19	122.2	0
	0.22	103.7	0.24	100.0	0.23	122.2	175.7
	0.28	103.7	0.28	100.0	0.28	122.2	243.4
	0.34	103.7	0.34	100.0	0.33	122.2	461.3
	0.43	107.4	0.41	107.4	0.43	125.9	591.8
	0.49	111.1	0.47	111.1	0.50	137.1	704.4
Sinkang	0.60	240.8	0.59	166.7	0.62	337.1	878.0
	0.65	393.7	0.65	359.3	0.68	407.4	990.1
	0.73	432.4	0.72	381.5	0.76	470.4	1133.8
	0.79	470.4	0.81	422.3	0.82	511.2	1296.5
	0.85	459.3	0.86	392.6	0.88	503.7	1458.3
	0.90	429.7	0.93	363.0	0.95	463.0	1705.5
	0.97	418.6	0.98	348.2	1.00	451.9	1877.0
Location	TK2		TK8		TNG67		G.D.D.
	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	
	0.17	172.2	0.17	118.5	0.18	107.4	0
	0.21	172.2	0.21	118.5	0.21	107.4	119.4
	0.27	172.2	0.28	118.5	0.28	107.4	235.3
	0.33	172.2	0.34	118.5	0.34	107.4	403.7
	0.42	190.8	0.44	118.5	0.44	107.4	568.0
	0.49	196.3	0.50	122.2	0.51	107.4	695.5
Shiko	0.59	263.0	0.61	174.1	0.63	237.1	888.1
	0.63	422.3	0.65	262.2	0.67	338.5	994.1
	0.69	555.6	0.74	370.4	0.75	422.3	1152.1
	0.77	574.1	0.80	426.0	0.83	450.0	1335.3
	0.83	474.1	0.87	392.2	0.89	420.0	1516.6
	0.91	450.0	0.94	359.3	0.95	392.6	1756.5
	0.95	448.2	0.98	344.5	1.00	381.5	1877.9
	0.97	343.7	1.00	263.7	1.00	322.3	1949.8

Table 3. The relationship between leaf number index (LNI) and tiller number (m^{-2}) and growing degree day (G.D.D.) on three rice cultivars at two locations for 2nd crop, 1995.

Location	TK2		TK8		TNG67		G.D.D.
	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	
Sinkang	0. 22	96. 30	0. 22	103. 7	0. 21	122. 2	0
	0. 31	96. 30	0. 31	103. 7	0. 31	122. 2	211. 0
	0. 43	96. 30	0. 43	103. 7	0. 44	122. 2	428. 1
	0. 53	148. 2	0. 53	140. 8	0. 54	163. 0	591. 7
	0. 65	277. 8	0. 65	240. 8	0. 66	274. 1	794. 7
	0. 73	322. 3	0. 74	311. 5	0. 75	326. 0	991. 6
	0. 80	340. 8	0. 82	281. 7	0. 83	333. 4	1191. 4
	0. 89	333. 0	0. 90	278. 8	0. 92	330. 0	1419. 8
	0. 96	324. 4	0. 96	275. 0	0. 97	307. 4	1577. 7
	0. 99	314. 8	0. 99	270. 0	1. 00	303. 7	1747. 3
Location	TK2		TK8		TNG67		G.D.D.
	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	
Shiko	0. 21	111. 9	0. 21	100. 0	0. 21	85. 2	0
	0. 37	111. 9	0. 37	100. 0	0. 31	85. 2	287. 1
	0. 47	143. 0	0. 46	111. 1	0. 45	132. 2	484. 0
	0. 58	165. 2	0. 58	175. 9	0. 60	148. 4	688. 9
	0. 65	185. 6	0. 66	225. 9	0. 67	196. 3	837. 3
	0. 76	250. 2	0. 78	259. 4	0. 78	258. 5	1129. 5
	0. 83	222. 1	0. 85	237. 7	0. 86	231. 3	1315. 9
	0. 89	211. 0	0. 91	229. 7	0. 91	201. 4	1480. 5
	0. 98	204. 1	1. 00	203. 7	1. 00	199. 6	1814. 4

(二)、水稻生育過程之氣象變化與產量及其構成因素間之關係

圖一及圖二爲試驗期間兩試驗地點之氣象因子的變化情形，94年八月份即試驗插秧初期，相繼有兩個颱風來襲，使雨量突增，日照時數降低，日均溫受最高溫度之降低而下降。但十月以後，降雨量甚少，95年二月及三月呈現持續低溫，95年六月中旬降雨量多，其他月份則較少，就整年日照時數而言，變化幅度蠻大。三個期作在兩個試驗地點之各品種的產量變化示如表四至表六，單位面積產量以95年一期作最高，其原因主要爲單位面積穎花數(單位面積穗數×每穗穎花數)較高所致，三期作中，溪口試區之單位面積穗數均低於新港試區，而除95年二期作新港試區因稻細螨爲害，導致水稻葉鞘及莖腐敗，致使稻株倒伏，稔實率下降之外，94年二期作及95年一期作兩試驗地區之稔實率相似。94年二期作，兩試區各品種之千粒重均明顯較95年一、二期作爲低。

Table 4. The grain yield and yield components of three rice cultivars at two locations for 2nd crop, 1994.

Location	cultivar	Panicle No. (m^{-2})	Spikelets No. per panicle	Fertility (%)	1000-grain weight (g)	Grain yield (g m^{-2})
Sinkang	TK2	314. 07	91. 274	82. 53	24. 24	573. 50
	TK8	282. 22	84. 848	83. 91	24. 48	491. 88
	TNG67	332. 89	92. 756	84. 01	23. 00	596. 49
Shiko	TK2	229. 70	94. 038	89. 60	25. 57	494. 95
	TK8	261. 63	99. 648	87. 48	25. 70	586. 17
	TNG67	281. 51	94. 096	88. 82	24. 70	581. 12

Table 5. The grain yield and yield components of three rice cultivars at two locations for 1st crop, 1995.

Location	cultivar	Panicle No. (m^{-2})	Spikelets No. per panicle	Fertility (%)	1000-grain weight (g)	Grain yield (g m^{-2})
Sinkang	TK2	272. 62	103. 84	91. 71	26. 76	694. 75
	TK8	253. 59	109. 66	89. 28	26. 48	657. 43
	TNG67	305. 03	103. 65	90. 32	25. 98	741. 72
Shiko	TK2	286. 53	112. 35	89. 72	26. 53	766. 23
	TK8	219. 75	121. 19	89. 30	26. 58	632. 12
	TNG67	268. 52	121. 29	87. 87	25. 45	728. 34

Table 6. The grain yield and yield components of three rice cultivars at two locations for 2nd crop, 1995.

Location	cultivar	Panicle No. (m^{-2})	Spikelets No. per panicle	Fertility (%)	1000-grain weight (g)	Grain yield (g m^{-2})
Sinkang	TK2	290. 00	112. 44	74. 03	25. 46	614. 59
	TK8	269. 07	117. 46	75. 59	26. 04	622. 10
	TNG67	294. 13	114. 41	78. 20	25. 16	662. 10
Shiko	TK2	185. 80	124. 88	93. 87	26. 90	585. 89
	TK8	191. 98	115. 59	92. 70	25. 71	528. 87
	TNG67	192. 59	113. 17	90. 33	25. 50	502. 05

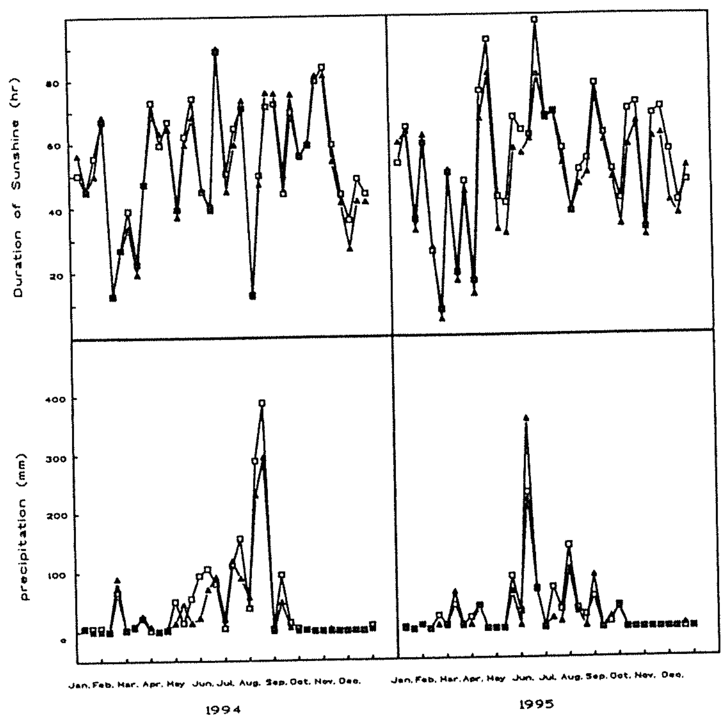


Fig 1. Changes of precipitation and sunshine during the experimental period at Sinkang (□) and Shiko (△)

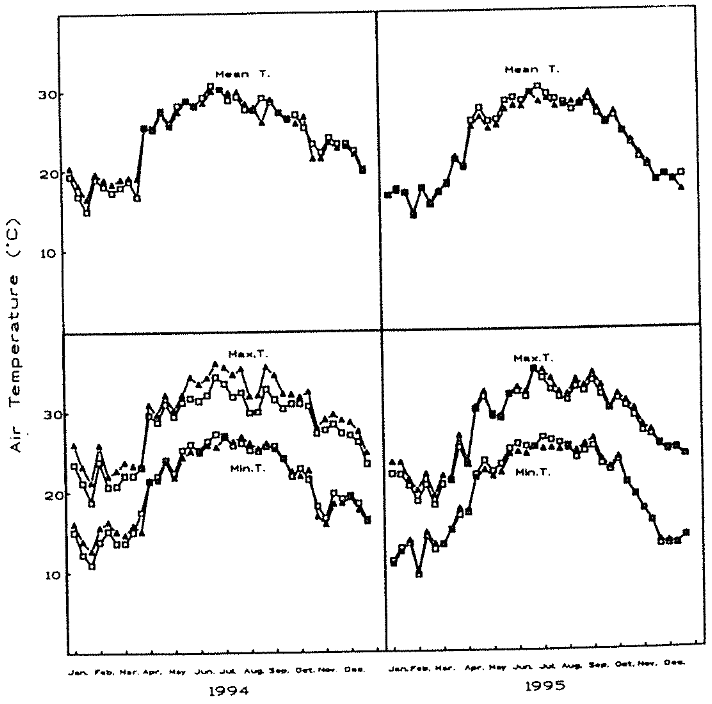


Fig 2. Changes of air temperature during the experimental period at Sinkang (□) and Shiko (△)

四、討　　論

水稻葉片之生長速率除受環境影響外，由本試驗觀察中亦發現營養生長期與生殖生長期之生長速率並不相同，本試驗所調查之葉齡指數配合Matsushima (1980)所述之水稻各生育階段與葉齡指數的關係, 再予以結合累積溫度分析，結果顯示營養生長期每單位葉齡指數生育所需累積溫度爲1800至2000(℃)，生殖生長期間則需3000至3600(℃)，在營養生長期水稻內部物質僅供稻株之營養生長，但幼穗分化後則另需供予幼穗發育之用，稻田(1994)認爲水稻葉色(葉綠素計值)於幼穗分化時會下降，即是因此原因所致。劉(1990)亦曾利用溫度單位作爲劃分水稻生育期可行性之研究,其發現利用修飾生育度數法(每日最高溫與最低溫之平均減去生育基礎溫度之總和)劃分各生育階段較傳統之生育日數法穩定,其定基礎溫度爲12.5℃，但在一般作物發育氣候模式中，需以10℃作爲基礎溫度，唯若干學者均曾指出以10℃作爲基礎溫度並不合理，因爲基礎溫度不但因物種之不同而異，即同一物種內的不同品種間，甚至同一品種之不同發育階段之間也有明顯的差異(Keulenand Wolf ， 1986; Jones et al., 1987; 邱 ， 1993)。劉(1990) 認爲不同時期插植，生育至各階段之生育度數應相近，本試驗結果顯示水稻各品種發育之各不同生育時期所需累積溫度二期作較一期作低，但因一期作生育日數較長，所累積之基礎溫度亦較高，唯若每日去除劉(1990)所定之基礎溫度，試驗結果顯示每一品種之生育基礎溫度並不相同，此或可解釋其原因。

以水稻葉齡指數代替傳統生育日數法，雖較麻煩，且水稻葉片數目亦受環境影響而改變，但在未有其他較佳的方式呈現作物生育階段的情況下，卻較能反映稻株實際狀態，由本試驗調查之水稻有效分蘗終期日數結果，顯示二期作較一期作所需日數短，但事實上二期作達到有效分蘗之葉齡指數較大，所需之累積溫度亦較高，達到最高分蘗期之葉齡指數，二期作亦較高，一期作自有分蘗終期至最高分蘗期之日數與累積溫度均較二期作爲高，致使其無效分蘗亦較高。利用累積溫度預測作物生長期，除需瞭解溫度外，尙包括光照、土壤、水分及作物本身的發育，因此欲以積溫模式來預測作物生長期，應在廣泛的環境之下蒐集具有代表性的資料，以作爲建立模式的基礎(Daughtry et al., 1984; Russelle et al., 1984; 許，1990; 邱，1993)。

就水稻產量而言，氣象變數透過其對各構成因素的影響，因而間接影響產量(鄔，1979)。故經由氣象變數對各構成因素影響的研究，再據之探討氣象變數對產量的影響，應是較合理且可行的途徑(李，1990)。惟就水稻產量構成因素決定時期之探討,於解剖學上之研究雖甚多，但無法由稻株外在之特徵得知，故本試驗所採用之葉齡指數的方法應是較可行的方式。但在目前作物發育氣候學(Phenology) 研究相當風盛之際，未來我們亦將針對此一方向探討水稻生長發育與氣候間的關係，試圖利用氣候條件之變化預測水稻之生育期，並探究了解各產量構成因素之決定時期。利用此技術於栽培措施上可因實際田間狀況施予不同處理，因而改善產量構成因素之結構，因此當我們進行水稻生育量及產量評估技術之探究同時，可因水稻產量構成因素相承發育特性之結果，尋求一改善水稻產量構成因素結構之栽培措施方法，此則可提高農民生產效率。

五、引用文獻

許福星，1990。度積溫在作物栽培管理上之應用。科學農業 38: 138-141。

李蒼郎，1990。氣象因子對水稻產量構成因素之影響及產量估計模式。國立中興大學農藝學研究所碩士論文，pp83。

劉瑋婷，1990。溫度單位對水稻植株生育及產量之影響。國立中興大學農藝學研究所碩士論文，pp76。

孔震成，1989。長期氣象預報在作物產量預測之應用。臺灣地區農業氣象資源研討會專集 p201-215。
沈寶齡，1983。利用主成分回歸分析法以水稻生長期中氣象因子建立穀物產量之預測模式。國立臺灣大學農藝學研究所生物統計組碩士論文，pp43。
何惠，1980。水稻產量預測之研究。國立臺灣大學農藝學研究所碩士論文，pp 84。
郭文鑠、曾文柄、楊之遠、鄭淑賢，1980。臺灣地區氣象因子與水稻產量預測模式之初步研究。氣象學報 26(1-2): 71-79。
鄔宏潘，1979。氣象因素及地區對一、二期作稻產量之影響。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集 p39-48。
稻田勝美，1994。葉色の測定とその營養.生育診斷への利用。農業および園藝 69(3): 57-62。
Daughtry, C. S. T. and S. E. Hollinger. 1984. Estimating silking and maturity dates of corn for large areas. Agron. J. 76: 415-420.
Horie, T., M. Yajima and H. Nakagawa. 1992. Yield forecasting. Agricultural system 40: 211-236.
Jones, J. W., J. W. Mishoe and K. J. Boote. 1987. Introduction to simulation and modelling. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific region. Tech. Bull. No. 100. 19p.
Matsushima, S. 1980. Rice cultivation for the million. p25-55. Japan Scientific Societies Press, Tokyo.
Russele, M. P., W. W. Wilhelm, R. A. Olson and J. F. Power. 1984. Growth analysis base on degree days. Crop Sci. 24: 28-32.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 297-311, 1996

北部沿海地區季節風對水稻產量及品質之影響

林孟輝 張學琨
臺灣省桃園區農業改良場

內 容

摘要……298
英文摘要……299
前言……300
材料與方法……300
結果與討論……301
誌謝……310
引用文獻……310

北部沿海地區季節風對水稻產量及品質之影響

林孟輝　張學琨
臺灣省桃園區農業改良場

摘　要

本試驗主要探討東北季風對早熟稻台粳1號、高雄142號及中晚熟稻新竹64號、台中189號之生育及產量之影響，及其稻米理化特性及碾米品質的變化。於1990年及1991年第二期作在桃園縣觀音鄉距海岸三公里處之抗尾村、六公里處之廣福村及九公里處之富源村進行試驗。結果顯示在1990年第二期作東北季風較弱(9～11月平均風速爲2.14 m s^{-1})及氣溫較高(三個月平均26.3℃)的氣候條件下，早熟稻高雄142號之分櫱數、千粒重及稔實率最高，其產量也最高(平均7330 kg ha^{-1})，次爲抗風之新竹64號(6296 kg ha^{-1})、台粳1號(6213 kg ha^{-1})，而台中189號最低(5954 kg ha^{-1})。在米質方面，各品種之米粒直鏈澱粉含量及粗蛋白質含量與距海之遠近成正比，而膠體展延性則相反。以品種而言，直鏈澱粉含量以中晚熟的台中189號最高，粗蛋白質含量則以早熟的台粳1號最高，兩者皆與其他品種呈顯著性差異。在1991年第二期作東北季風較强(9～11月平均風速爲3.57 m s^{-1})及氣溫較低(三個月平均23.6℃)的氣候條件下，本年期因風速較强，產量比上年期爲差，以早熟種台粳1號最高(平均6576 kg ha^{-1})，次爲高雄142號(6127 kg ha^{-1})，抗風之新竹64號(5273 kg ha^{-1})又次之，台中189號(3980 kg ha^{-1})最低。可見東北季節風越强，對中晚熟種影響越大，尤其是不抗風的品種，但早熟種因能躲開風害，受影響較輕微。而水稻在生育期間受風害影響，以稔實率最大，次爲千粒重。離海距離對產量並無顯著的相關。在米質方面，早熟稻之完整米率比中晚熟稻低，台粳1號及台中189號之直鏈澱粉含量與粗蛋白質含量在試區間無顯著差異，但膠體軟硬度卻呈顯著性差異，而高雄142號及新竹64號之直鏈澱粉含量與粗蛋白質含量則因試區之不同而有顯著差異，但膠體軟硬度卻無顯著性差異。總之，完整米率、直鏈澱粉含量及粗蛋白質含量皆以兩中晚熟品種較高，且呈顯著性差異。比較兩年期作時，氣候條件較差之1991年其四種粳稻的完整米率均較低，直鏈澱粉含量及粗蛋白質含量分別比1990年多出2.10-2.72%及0.49-1.50%，而且入口品質(膠體軟硬度)爲粘性低且較硬，可見季節風對米質有負面的影響，尤以中晚熟品種爲甚。

關鍵詞：季節風，粳稻，成熟期、品質。

Influence of North-east Monsoon on the Yield and Quality of Rice in Northern Coastal Area

Meng-Huei Lin and Shueh-Kun Chang (Taoyuan District Agricultural Improvement Station)

ABSTRACT: This study was aimed to determine the influence of north-east monsoon on the growth, yield, the physico-chemical properties and milling quality of japonica rice (*Oryza sativa* L.). Four japonica rice varieties, including early maturing varieties Taikeng 1 and Kaohsiung 142 and mid-to-late maturing varieties Hsinchu 64 and Taichung 189 were tested at 3, 6 and 9 km far from the west coast of Kuanyin, Taoyuan Hsien in the second crops of 1990 and 1991. The results showed that in the 2nd crop of 1990, under the moderate north-east monsoon (September-to -November monthly mean wind speed at 2.14 m s^{-1}) and high air temperature (monthly mean temperature at 26.3℃), the early maturing variety Kaohsiung 142 had the highest panicles per hill, 1000-grain weight, fertility and yield(7330 kg ha^{-1}), followed by Hsinchu 64(6296 kg ha^{-1}), Taikeng 1(6213 kg ha^{-1}) and Taichung 189 (5954 kg ha^{-1}). In quality properties, the percentage of amylose and crude protein contents were positively proportional to the distance away from sea coast. However, the gel consistency was to the contrary. In comparison among the varieties, late maturing Taichung 189 had the highest percentage of amylose content and early maturing Taikeng 1 had the highest percentage of crude protein. In the 2nd crop of 1991, under strong north-east monsoon(September-to-November, monthly mean wind speed at 3.57 m s^{-1}) and low monthly mean air temperature (23.6℃). The two mid-to-late maturing varieties during the heading stage were subjected to strong wind and low temperature injuries, thus decreased in fertility, 1000-grain weight and grain yields of Taichung 189 for 33.2% and of Hsinchu 64 for 16.2% compared to that of 1990. The early maturing Taikeng 1 gave the highest yield of 6576 kg ha^{-1}, followed by another early maturing Kaohsiung 142(6127 kg ha^{-1}), then Hsinchu 64 (5273 kg ha^{-1}) which is late maturing but resistant to strong wind and Taichung 189 (3980 kg ha^{-1}) which was weak stand to wind the lowest. In quality properties, two early maturing varieties had lower head-rice rate than the mid-to-late maturing varieties. The percentages of amylose and crude protein content of all varieties were different in different tested areas. The gel consistency was significantly different in Taikeng 1 and Taichung 189 but not in Kaohsiung 142 and Hsinchu 64. Generally two late maturing varieties were higher in the head-rice rate and the percentages of amylose and crude protein. Therefore, the strong wind and the low temperature prevailing during the second crop were the main factors affecting the low yield of late maturing rice varieties, whereas the early maturing varieties were able to avoid the climatic injuries and gave the same high yield as in the first crop, or even more. By comparing two year-crop seasons with different climates, rice produced in 1991

with strong wind had lower head-rice rate and increased percentages of amylose (2.10-2.72%) and crude protein (0.49-1.50%). The eating quality (gel consistency) is less sticky and harder than that of 1990.

Key words：Monsoon, Japonica rice, Maturity, Quality.

前 言

台灣因地理位置之關係，每年自9月中、下旬起至翌年4月中、下旬，因受亞洲大陸高氣壓的影響，北部均籠罩在強勁東北季風及多陰雨的氣候下，尤以西北部至台南海爲最烈，最高風速可達20 m s^{-1}以上(曾等，1984)。東北季風不但會使水稻發生葉片破損、穀粒變黑、株高受抑制，而且造成水稻成熟期延遲、稔實率降低、每穗粒數及千粒重減低等現象，進而影響水稻的產量及品質(林等，1994；林與張，1995；Maki，1986)。另外，稻米之品質係綜合米粒理化性質而成之一種複合性狀。根據宋(1979)研究，其將稻米品質歸納成碾米品質、米粒外貌、烹調與食用品質等三大類，其中除稻米品種本身特性(如糠層厚薄、穀粒形狀等)外，亦受到外界環境因素的影響，如成熟期之濕度、施肥法、收穫期、收穫方式、乾燥技術及儲藏方式等。堀末(1983)在研究報告中亦指出，稻米之品質性狀雖爲品種特性，但產地成熟期之濕度與日照及栽培管理等環境因子之影響尤爲顯著。因此北部地區之濱海農田，歷年來因受冬季季節風的影響，致廣達四千餘公頃之農地，生產力難以充份發揮而呈現休耕狀態。本試驗的目的即在查明桃園沿海地區惡劣氣象因子對水稻損害之程度，並瞭解東北季風對稻米品質之影響，希望進一步探討影響北部地區第二期作之良質米特性，以尋求可供適於北部沿海地區種植之水稻品種。

材料與方法

本研究以台稉1號、高雄142號兩早熟品種及新竹64號、台中189號兩中晚熟品種等共四個稉稻品種(*Oryza sativa* L.)爲供試材料，採逢機完全區集設計(RCBD)，六重複，行株距30x15公分，小區面積9平方公尺；於1990年第2期作及1991年第2期作在桃園縣觀音鄉距海岸3公里之坑尾村、6公里之廣福村及9公里之富源村等三處進行本試驗；以攜帶型風杯式風速計測各栽培區內之風速，而溫度計則懸掛於各栽培區中，分別距地面60公分及120公分，取其平均值爲各處理區之氣溫，每隔2-3日分別在上午10點及下午2點測定。全部試驗結果先以SAS套裝軟體(SAS Institute Inc., 1987)進行變方分析，以瞭解各品種在不同地點間農藝性狀及米質的差異；最後合併兩個年度及三個試驗地點，以SAS套裝軟體之相關程序進行綜合變方分析 (Combined analysis of variance)，以瞭解氣候狀況迥異之年度間對產量及米質的影響。

收穫之稻穀的水分調製在14-16%之間，然後進行各項稻米的碾製品質及理化性狀，茲將調查項目簡述如下：

(1)碾米品質(milling quality)之測定：取125公克稻穀樣品，採用Satake testing husker脫殼，以McGill Miller #3去糠，並且用Rice sizing machine 篩選斷裂米，以測定糙米 (brown rice)、白米 (total milled rice)及完整米(head rice)之百分率。

(2)化學特性分析：

1.直鏈澱粉(amylose)含量測定－仿Juliano (1971)之方法，再利用Technicon 自動分析儀(Auto-Analyzer)測定直鏈澱粉含量。

2.粗蛋白質(crude protein)含量測定－以近紅外線光譜分析儀(Infraanalyzer，Technicon)，測定米粉之粗蛋白質含量。

3.膠體軟硬度(gel consistency)測定—仿Cagampang et al.(1973)之方法，觀察膠體展流的長度。

4.膠化溫度(gelantinization temperature)測定—採用鹼性可分類試驗(alkali digestability test)之鹼性擴散值(alkali spreading value)予以測估。

結果與討論

一、栽培地點年期間主要氣候狀況

根據圖1及圖2之氣象資料顯示，1990年第2期作自8月上旬插秧後，栽培地點之平均氣溫皆高，約爲32.8℃左右，雖氣溫隨月份逐漸降低，但10、11月之平均氣溫仍維持在25℃以上，自11月下旬起氣溫逐漸下降，約爲21.6℃左右，但此時已屆水稻收穫期，因此對水稻的影響並不大；另東北季風雖從9月份開始吹襲，但平均風速只有 1.64 m s^{-1}，到11月份時，風速雖漸增强，但只維持在 2.57 m s^{-1}左右。

1991年第2期作插秧後，三栽培地點之平均氣溫在9月份仍維持高溫(30.9℃)，自10月中旬起氣溫已有明顯下降的趨勢，到10月下旬已降至23.8℃，而11月之平均氣溫只有22.7℃，尤其11月中旬更降至19.4℃。

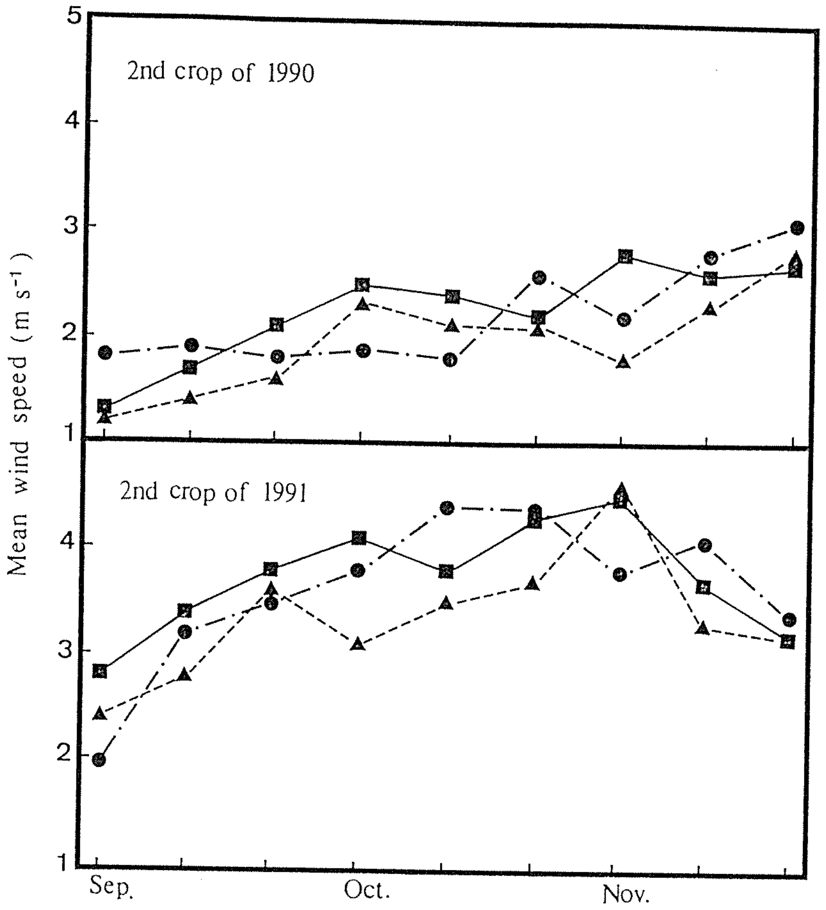


Fig. 1. Mean wind speed distribution at three test locations of various distance from coast. ■, ● and ▲: 3, 6 and 9 km from coast, respectively.

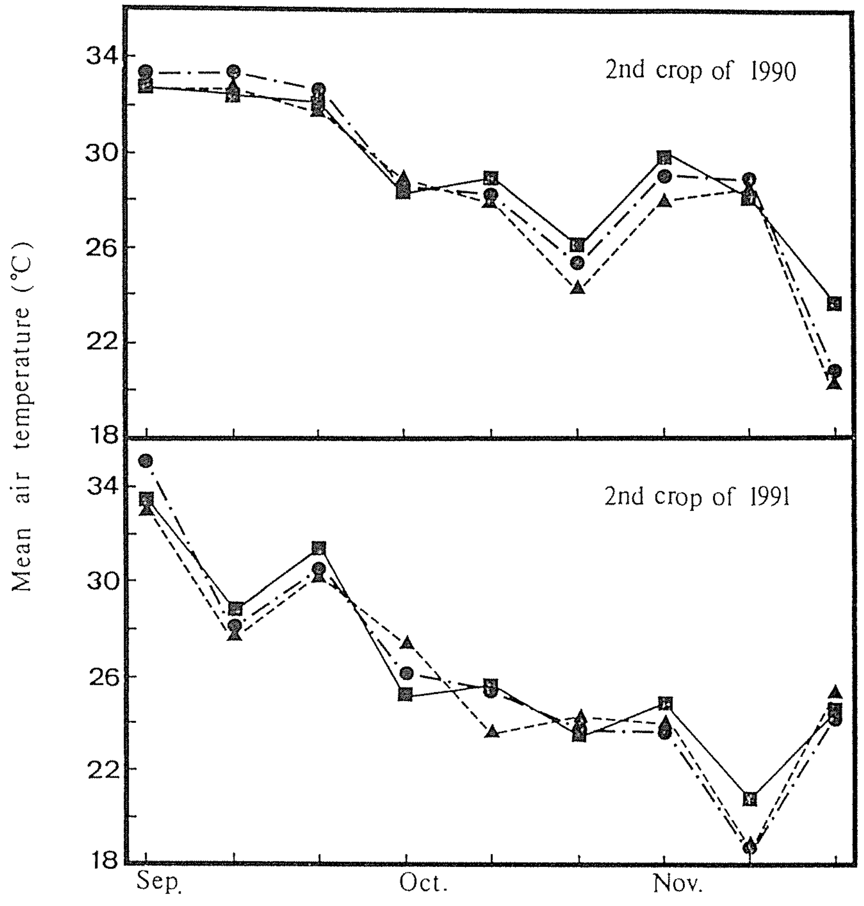


Fig. 2. Mean air temperature distribution at three test locations of various distance from coast. ■, ● and ▲: 3, 6 and 9 km from coast, respectively.

總括來說，1991年之10月份平均氣溫比1990年低2.8℃，11月份低3.6℃；另平均風速自9月中旬起即達3.13 m s^{-1}左右，到10月份時逐漸增強到3.9 m s^{-1}，尤其距海岸三公里之坑尾村及六公里之廣福村的平均風速皆達4.0 m s^{-1}以上，而距海較遠之富源村之平均風速亦達3.43 m s^{-1}，至11月份時三栽培地點之平均風速仍維持在3.2 m s^{-1}以上。因此與1990年第2期作比較時，1991年第2期作之氣候是屬於低溫強風的狀態。

二、季節風對農藝性狀之影響

1.1990年第2期作各品種之農藝性狀

表1顯示1990年第2期作中各品種之株高皆以離海6km之廣福村最高，而千粒重有三品種在距海3km之坑尾村最高，且不同栽培區間呈顯著性差異。一穗粒數除台稉1號外皆以3km處坑尾村最低，而稔實率在各栽培區呈不規則變異。各品種之公頃產量在各三種距離間無顯著差異。綜合變方分析後結果(表2)可看出各品種除分蘗數外，其餘各性狀在地點間、品種間或兩者交感間多少都呈顯著性，尤其是早熟稻高雄142號的稔實率(90.1%)、千粒重(26.1 g)及分蘗數(16.9支)最好，公頃產量亦最高(7330 kg/ha)，且與其他三品種呈顯著性差異。各栽培區中除千粒重以坑尾村最重及株高以富源村最高外，其餘各性狀在不同栽培區間皆無顯著性差異。

Table 1. Effects of north-east monsoon on agronomic characteristics and yields of rice grown at 3 locations of Kuangin, Taoyuan in second crops of 1990 and 1991.

Variety	Location	Plant height (cm)		Panicles ($hill^{-1}$)		1000-grain weight (g)		Spikelets ($panicle^{-1}$)		Seed setting (%)		Grain yield (kg ha^{-1})	
		1990	1991	1990	1991	1990	1991	1990	1991	1990	1991	1990	1991
Taikeng 1	KW	95. 8a	89. 0a	14. 2b	16. 5b	26. 6a	21. 6a	78. 0a	93. 1a	87. 1a	87. 0a	5736a	6492a
	KF	97. 1a	91. 8a	16. 9a	16. 9a	24. 5b	23. 1a	86. 8a	91. 8a	82. 6b	84. 7a	6562a	6743a
	FU	94. 5a	91. 1a	15. 9a	17. 6a	26. 0ab	21. 7a	82. 6a	88. 8a	82. 1b	85. 5a	6340a	6493a
	Mean	95. 8	90. 6	15. 7	17. 0	25. 7	22. 1	82. 4	91. 2	83. 9	85. 7	6213	6576
	CV(%)	1. 36	2. 01	3. 43	4. 00	3. 08	5. 52	12. 57	8. 93	2. 24	3. 27	10. 29	11. 62
Kaohsiung 142	KW	87. 3b	90. 2a	17. 4a	15. 8b	27. 9a	21. 8a	74. 3b	80. 8a	87. 6a	90. 2a	7024a	5635b
	KF	101. 4a	93. 5a	17. 5a	15. 9b	25. 7ab	22. 1a	85. 6ab	88. 2a	92. 0a	88. 1ab	7829a	6113ab
	FU	98. 1a	93. 2a	15. 8a	19. 0a	24. 7b	22. 2a	90. 7a	82. 7a	90. 7a	86. 3b	7137a	6634a
	Mean	95. 6	92. 3	16. 9	16. 9	26. 1	22. 0	83. 5	83. 9	90. 1	88. 2	7330	6127
	CV(%)	2. 45	1. 64	9. 07	6. 75	4. 73	3. 21	7. 81	6. 21	2. 91	1. 14	12. 18	5. 18
Hsinchu 64	KW	93. 3a	90. 7a	15. 3a	18. 3a	25. 2a	22. 7a	81. 3b	86. 1a	79. 5b	71. 3a	6835a	5797a
	KF	98. 0a	95. 4a	15. 8a	17. 3a	22. 9a	23. 1a	94. 1a	87. 7a	79. 5b	60. 1a	5734a	4716b
	FU	90. 1a	93. 5a	14. 9a	18. 4a	25. 4a	23. 1a	99. 9a	77. 7a	90. 7a	68. 9a	6320a	5307a
	Mean	93. 8	93. 2	15. 3	18. 0	24. 5	22. 9	91. 7	83. 8	83. 2	66. 8	6296	5273
	CV(%)	5. 58	3. 98	12. 61	5. 62	6. 17	2. 17	7. 85	8. 14	5. 37	9. 85	15. 13	14. 46
Taichung 189	KW	92. 5b	92. 5a	14. 8a	16. 8a	25. 4a	22. 1a	83. 6b	87. 2a	80. 7a	67. 5a	5576a	4937a
	KF	100. 7a	95. 2a	14. 3a	15. 6a	23. 0b	22. 4a	97. 9a	87. 9a	86. 1a	45. 5b	6185a	3164b
	FU	97. 2ab	93. 9a	16. 1a	17. 9a	23. 7b	22. 0a	85. 1b	68. 0b	79. 7a	62. 9a	6101a	3838ab
	Mean	96. 8	93. 9	15. 0	16. 8	24. 0	22. 2	88. 9	81. 0	82. 2	58. 6	5954	3980
	CV(%)	2. 49	1. 63	12. 88	6. 26	2. 17	1. 30	6. 04	5. 33	4. 10	13. 71	13. 58	16. 34

KW=Kangwei Village(3 km from coast); KF=Kuanfu Village(6 km from coast);
FU=Fuuan Village (9 km from coast).
Planting dates=August 8th of 1990 and August 5th of 1991.
Harvesting dates=November 15th(early matured)and November 21th(late matured) of 1990. and November 10th(early matured)and November 25th(late matured) of 1991.
Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level of probability.

2.1991年第2期作各品種之農藝性狀

1991年第2期作強風低溫的氣候下，各品種之株高及千粒重在三處栽培地點並無顯著差異；兩早熟品種之一穗粒數在三處無顯著差異，而兩中晚熟種皆以9 km之富源村最低；另稔實率方面，台稉1號及新竹64號在三處間無顯著差異，而高雄142號於9km之富源村及台中189號於6km

Table 2. Comparisons of mean plant height(PH), panicles(PN), 1000-grain weight(GW), spikelets (SP), seed setting(SS) and grain yield(Y) within locations and varieties by combined analysis of variance in the second crop of 1990.

Characteristics	Location			Variety			
	KW	KF	FA	TK 1	KS 142	HC 64	TC 189
PH	92. 3b	99. 4a	95. 8b	95. 8ab	95. 6ab	93. 8b	96. 8a
PN	15. 4a	16. 2a	15. 7a	15. 7a	16. 9a	15. 4a	15. 1a
GW	26. 3a	24. 0b	24. 9ab	25. 7a	26. 1a	24. 5b	24. 0b
SP	84. 0a	91. 1a	85. 0a	82. 5b	83. 6b	91. 8a	88. 9ab
SS	83. 8a	85. 0a	85. 8a	83. 9b	90. 1a	83. 3b	82. 2b
Y	6292. 5a	6577. 4a	6474. 5a	6212. 8b	7329. 8a	6296. 3b	5953. 8b

TK 1=Taikeng 1, KS 142=Kaohsiun 142, HC 64=Hsinchu 64, TC 189=Taichung 189.
Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level of probability.

之廣福村均顯著低於其他試區，故離海遠近並無一定的影響趨勢。又兩中晚品種之變異係數(CV值)高於兩早熟品種，表示中晚熟種在稔實率的穩定性比早熟種低(表1)。綜合變方分析後結果(表3)可看出兩早熟品種之稔實率顯著高於兩晚熟種，尤其台中189號只有 58.7%，明顯低於兩早熟品種(台稉 1號爲 85.8%，高雄142號爲88.2%)，以致其公頃產量只有3980kg。雖然新竹64號之千粒重及分蘖數顯著高於其他品種，但因其稔實率只有66.8%故公頃產量也只有5273 kg，顯然比兩早熟品種低(台稉1號爲6576 kg/ha，高雄142號爲 6127 kg/ha)。三地點除千粒重、株高及公頃產量呈不顯著差異外，其餘各性狀因地點之不同而有顯著的差異。

Table 3. Comparisons of mean PH, PN, GW, SP, SS and Y within locations and varieties by combined analysis of variance in the second crop of 1991.

Characteristics	Location			Variety			
	KW	KF	FA	TK 1	KS 142	HC 64	TC 189
PH	90. 5a	94. 0a	92. 9a	90. 6b	92. 3ab	93. 2a	93. 8a
PN	16. 8b	16. 4b	18. 2a	17. 0b	16. 9b	18. 0a	16. 8b
GW	22. 1a	22. 7a	22. 2a	22. 1b	22. 0b	23. 0a	22. 2b
SP	86. 8a	88. 9a	79. 3b	91. 2a	83. 9b	83. 8b	81. 1b
SS	79. 0a	69. 6b	75. 9a	85. 8a	88. 2a	66. 8b	58. 7c
Y	5715. 5a	5183. 8a	5568. 1a	6576. 0a	6127. 4a	5273. 3b	3980. 1c

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level of probability.

3.兩年期作間綜合分析

兩年兩期作之資料經綜合變方分析，其結果顯示(表4)，不同年度的氣候條件影響水稻之株高、分蘖數、千粒重及稔實率，即氣候條件良好之1990年均有較高之株高、分蘖數、千粒重及稔實率，亦有較高之收量，而低溫强風之1991年則相反。各處除千粒重、分蘖數及公頃產量呈不顯著差異外，其餘各性狀均有顯著差異。兩早熟種除一穗粒數外，其餘各性狀皆比中晚熟種爲優，尤其是在稔實率更爲明顯，其最主要是因早熟品種於10月上旬即抽穗(台稉1號之抽穗期爲10月5日；高雄142號爲10月10日)，可避開强烈季節風及低溫之爲害，但中晚熟品種之抽穗期在10月下旬(新竹64號之抽穗期爲10月20日；台中189號爲10月23日)，正值强烈季節風及低溫盛行期。據 Lin等(1979)及Hsu(1976)指出抽穗前後3天是稔實率的重要決定期，但此時期若遇低溫，將造成空穎或發育不良等現像，因在低溫下授粉與穀粒充實將無法正常進行。坪井(1961)亦指出，正值抽穗時對强風最爲敏感，將會導致授粉不完全或受精後之子房停止發育，產生許多不稔粒。所以由此可解釋新竹64號及台中189號之稔實率低下的原因。又，台中189號因生育期過長，且在中部所選育，似較不抗惡劣之氣候，因此其稔實率、千粒重及分蘖數明顯低於其他品種，導致其產量亦最低。雖然新竹64號之稔實率只有75.0%，比早熟種低，但因其由北部所育成，故其千粒重及分蘖數皆比台中189號好，故其產量雖比早熟種低，但仍高於台中189號。

1990年各品種產量(除台稉 1號外)比1991年高的另一原因是千粒重。因抽穗後21天內爲穀粒的主要充實期間，此期間之高溫可促進充實速率，縮短有效充實期，低溫則反之(鈴木與中村，1978)；又因穀粒充實期間之有效充實日數與充實速率爲決定充實良否的主要生理特性，而充實速率又比充實期重要(Jones et al ，1979)。同時江幡與石川(1989)亦指出，正當抽穗時若遇强風 4 m s^{-1} 以上吹襲 1小時，百粒重即有下降趨勢，抽穗後21日內如遇强風時，會產生許多不良米而影響完整米率。據Chang(1989)在台灣中部沿海地區之試驗研究指出，早熟種如在10月底前能成熟，則無論什麼品種均不受種植期之影響，產量都相當穩定；但在11月以後才成熟者，則

Table 4. Comparisons of mean PH, PN, GW, SP, SS and Y between years, among locations and varieties by combined analysis of variance.

Characteristics	Year		Location			Variety			
	1990	1991	K.W	K.F	F.A	TK 1	KH 142	HC 64	TC 189
PH	95. 5a	92. 5b	91. 4c	96. 6a	93. 9b	93. 2b	93. 9ab	93. 5b	95. 3a
PN	17. 2a	15. 7b	16. 1a	16. 3a	16. 9a	16. 3ab	16. 9a	16. 7a	15. 9b
GW	86. 9a	85. 0a	85. 4ab	90. 0a	82. 1b	86. 8a	83. 7a	87. 8a	85. 5a
SP	25. 0a	22. 3b	24. 2a	23. 3a	23. 5a	23. 9a	24. 0a	23. 7a	23. 1b
SS	84. 8a	74. 8b	81. 4a	77. 3b	80. 8a	84. 8b	89. 1a	75. 0c	70. 4d
Y	6448. 1a	5489. 1b	6004. 0a	5880. 6a	6021. 3a	6392. 7a	6728. 6a	5784. 7b	4966. 9c

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level of probability.

晚一天成熟，會減產1%，其影響爲葉身之擦傷及稔實率與千粒重之減輕。是以本試驗之1991年各水稻品種於抽穗後遇低溫，使得充實期延長，千粒重下降，尤其是台中189號於11月25日才能收穫(台稉1號爲11月7日；高雄142號爲11月10日；新竹64號爲11月17日)，嚴重影響充實速率，以致千粒重下降。

由以上結果可看出，無論距海較近之3km或較遠之9km，水稻之生育及產量皆受東北季風及低溫的影響。中晚熟品種之台中189號在1991年第2期之強風及低溫下，其產量比氣候條件較佳之1990年同期作減產 33.2%；因新竹64號是在北部所育成，是以其產量只減低16.2%；而早熟品種之高雄142號雖然產量亦下降(16.4 %)，但仍有六噸以上之產量；台稉1號比高雄142號早5天抽穗，較不受強風影響，其公頃產量平均6576 kg，反而增產5.8%，顯示未受氣候之影響。因此北部地區第二期作爲求產量之穩定及高產，種植早熟稻是一良好之選擇。

三、季節風對米質之影響

1.栽培地點與碾米品質之關係

表5顯示1990年第2期作中兩早熟品種之糙米率在不同栽培區中並無顯著性差異，白米率則有隨著距海岸越遠而提高的趨勢，尤其是台稉1號呈顯著性差異，而完整米率卻以距海岸六公里之廣福村最低；另兩中晚熟品種無論在糙米率、白米率及完整米率方面皆以距海較遠之富源村較高，尤其是台中189號在不同試區中皆呈顯著性的差異。1991年第2期作之台稉1號只有在完整米率上呈顯著差異，且以距海岸九公里之富源村最高；高雄142號在白米率及完整米率皆因試區不同而有差異；另兩中晚熟品種無論在糙米率、白米率及完整米率在不同試區中皆無顯著性差異。若考慮四個稉稻品種糙米率、白米率及完整米率之差異顯著性狀之CV值可發現，東北季風盛行之1991年第2期作各品種因試區不同之變異較東北季風較弱之1990年第2期作大，尤其是1991年第2期作之台中189號之完整米率的變異性比其他品種大。據McCall *et al.* (1953)指出環境(即稻米之生長區域)及不同的稻米品種兩者均對於碾米品質會造成影響；又郭等(1985)亦提出期作及區域環境均會影響稻米之碾米品質，與本試驗相吻合。若比較四品種之完整米率時，可發現中晚熟品種的比率有較高的趨勢。據郭等(1985)指出高溫能增加米粒白堊質(chalky)。已知米粒白堊質部，係由於米粒該部份之澱粉顆粒累積未密實而充滿空氣所致，且易於碾白時碎裂。是以在東北季風下，雖會延長中晚熟稻之成熟期，但亦延長其穀粒之充時期間，且在低溫下(最低臨界溫度內)穀粒之充實速度亦降低，以致米粒之澱粉顆粒累積較緻密，使之更具碾白抵抗力而不易碎裂，提高其完整米率。

2.栽培地點與膠化溫度之關係

膠化溫度是澱粉之一種物理特性，乃在熱水中的澱粉顆粒開始成不可逆之膨脹，並失去其曲折性(birefringence)及結晶構形(crystallinity)之臨界溫度。膠化溫度直接影響到煮飯時米粒之吸水率 (water uptake)、膨脹容積 (expand volume)及米粒伸長 (kernel elongation)(Tomar and Nanda，1984)。高膠化溫度 (75-79℃；鹼性擴散值爲 6及 7級)之白米適用於罐製食品或點心加工類，而一般白米飯則以中 (70-74℃；鹼性擴散值爲 3及 4級)至低膠化溫度(55-69℃；鹼性擴散值爲 1及 2級)爲宜。目前最簡易測試米粒之膠化溫度，通常以鹼性擴散值來推定，當米粒受到鹼性侵蝕而膨脹溶解之程度顯出，數字愈大，代表膠化溫度愈低。本試驗之 4個參試品種的鹼性擴散皆屬第 7級，意即低於70℃之低膠化溫度(L)，因此各品種間及不同試區間並無顯著性差異(表 6)。

Table 5. The milling quality of four rice varieties grown at 3 locations.

Variety	Location	Milling quality					
		Brown rice(%)		Total milled rice(%)		Head rice(%)	
		1990	1991	1990	1991	1990	1991
Taikeng 1	KW	83. 52a	83. 46a	74. 97b	74. 43a	70. 06ab	66. 81ab
	KF	83. 26a	83. 42a	74. 46ab	74. 49a	67. 24b	64. 54b
	FU	83. 59a	83. 25a	75. 72a	74. 78a	71. 35a	69. 67a
	Mean	83. 46	83. 38	75. 05	74. 56	69. 55	67. 01
	CV(%)	0. 51	0. 53	0. 86	1. 14	3. 65	4. 40
Kaohsiung 142	KW	83. 58a	83. 78a	75. 18a	74. 92ab	73. 32a	63. 28b
	KF	83. 38a	83. 61a	75. 01a	75. 52a	69. 38b	65. 25ab
	FU	83. 42a	83. 33a	75. 41a	74. 20b	70. 98b	66. 80a
	Mean	83. 46	83. 57	75. 20	74. 88	71. 23	65. 11
	CV(%)	0. 38	0. 46	0. 68	0. 86	2. 07	4. 10
Hsinchu 64	KW	82. 94b	84. 20a	74. 79a	75. 25a	70. 56a	70. 14a
	KF	82. 98b	84. 24a	74. 70a	75. 32a	69. 91a	69. 42a
	FU	83. 45a	83. 93a	75. 00a	75. 17a	70. 65a	70. 92a
	Mean	83. 12	84. 12	74. 83	75. 24	70. 37	70. 16
	CV(%)	0. 29	0. 52	0. 45	1. 08	1. 56	3. 00
Taichung 189	KW	82. 45b	83. 81a	74. 12b	74. 45a	71. 64ab	64. 86a
	KF	83. 17a	84. 06a	74. 60a	75. 14a	71. 04b	70. 64a
	FU	83. 08a	83. 57a	74. 56a	74. 50a	72. 41a	70. 69a
	Mean	82. 90	83. 81	74. 42	74. 70	71. 70	68. 73
	CV(%)	0. 31	0. 55	0. 29	0. 84	1. 10	8. 09

1: K.W=Kangwei Village(3 km from coast); K.F=Kuanfu Village(6 km from coast); F.A=Fuuan Village (9 km from coast).

2: Planting dates=August 8th of 1990 and August 5th of 1991.
Harvesting dates=November 15th(early matured)and November 21th(late matured) of 1990.
Harvesting dates=November 10th(early matured)and November 25th(late matured) of 1991.

3: The same litters in a column mean insignificant difference at 0.05 level by LSD.

3.栽培地點與直鏈澱粉含量之關係

米粒之澱粉含量長久以來向被認爲是影響米飯之風味品評等第 (taste pannel scores)之最主要因素(Juliano *et al*，1964 a；Onate *et al*，1964)。依據許與宋(1988)指出，若僅就食味總分而言，其與直鏈澱粉含量呈極顯著之負相關，意即直鏈澱粉含量高者之食味較不佳。由表 6顯示1990

年第2期作中，四個稉稻品種之直鏈澱粉含量在三個不同試區中皆以最近海岸處之坑尾村最低，且呈顯著性差異；1991年第2期作只有高雄142號及新竹64號之直鏈澱粉含量在廣福村中最低，且與其他試區有顯著的差異，而台稉1號及台中189號之直鏈澱粉含量不因試區不同而有顯著差異。若比較氣候狀況截然不同的兩期作間各水稻品種之直鏈澱粉含量，可發現氣候較惡劣之1991年第2期作高於氣候良好之1990年第2期作，平均約高出2.10-2.72%左右，而且兩期作皆以台中189號爲最高(1990年爲20.76%；1991年爲22.86%)；雖然新竹64號及台中189號皆爲中晚熟品種，但因新竹64號在北部選育，較能適應北部環境，而台中189號在中部選育，故對生育後期之强風低溫較無法適應，以致其成熟日數比新竹64號晚6天左右，據此可推測台中189號之之直鏈澱粉及變異係數(CV值)比新竹64號高的原因，與過去有許多學者(郭等，1985；Chamura *et al*，1979；Rosario *et al*，1968)證實穀粒成熟期間之溫度能影響米粒之直鏈澱粉含量，且低溫可導致米粒有較高之直鏈澱粉含量相印證。

4.栽培地點與粗蛋白質含量之關係

蛋白質含量雖與烹調品質有關，但常被視爲營養品質(nutritional quality)的性狀。蛋白質含量高低除了會影響營養品質外，並與米飯烹調所需時間、用水量多寡及米飯呈色等有關。

由表6可看出，1990年第2期作各參試品種之粗蛋白質含量在不同試區中的變化趨勢呈富源村＞廣福村＞坑尾村，且除了高雄142號外，其餘三品種在不同試區中皆呈顯著性差異；1991年第2期作之台稉1號及台中189號的粗蛋白質含量在不同試區中並無顯著差異，而高雄142號及新竹64號的粗蛋白質含量卻以廣福村爲最高。另比較兩期作之差異時，可發現1991年第2期作之稻米粗蛋白質含量皆高於1990年第2期作，平均約高出0.49-1.50%左右。Juliano *et al.*(1964b)曾指出，相同品種及栽培條件下，因不同的栽培季節會產生不同的米粒蛋白質含量；而且有許多學者指出，早熟稻品種之米粒有蛋白質含量較高之傾向(郭與謝，1978；Kido and Yanatori，1965；Webb *et al*，1968)。又據Ishizuka and Tanaka(1969)指出在同一栽培條件下，不論品種成熟性之早晚，稻株莖葉中之氮含量均隨生長日數之增加而相對遞減，又莖葉中之氮素對米粒之蛋白質含量有正面效應。由此可說明抽穗期與米粒蛋白質含量呈負相關關係。因此以上之結果只與本試驗之1990年第2期作相吻合，但是與東北季風盛行之1991年第2期作之結果相反，意即中晚熟品種之粗蛋白質含量較早熟品種高，而不良環境對粗蛋白質含量之影響機制仍不清楚。

5.栽培地點與膠體軟硬度之關係

在直鏈澱粉含量相同之不同水稻品種中，食用品質(eat quality)仍有差異存在。Cagampang *et al.*(1973)發現其差異主要受膠體軟硬度的影響，因此認爲可做爲篩選特定食用品質之另一種指標。膠體軟硬度主要根據米粉膠體在一定時間內展流的長度來決定。一般而言，硬度低者之膠體展流長度較長，而硬度高者的膠體展流長度較短。

在1990年第2期作中，台稉1號及台中189號之膠體展流長度以富源村最低，且呈顯著性差異，而高雄142號及新竹64號在不同試區中則無顯著差異；在1991年第2期作亦有相同趨勢。比較兩期作間差異時，可發現80年中各參試品種之膠體展流長度皆比79年短14.79-28.55mm，意即在不良的環境下生長之稻米的入口品質呈粘性低且較硬的趨勢。

6.綜合分析

將不同年度之兩期作做一綜合變方分析，結果列於表7。由表中可看出，不同年度的氣候狀況影響稻米之完整米率、直鏈澱粉含量、粗蛋白質含量及膠體展延性，且呈極顯著性差異，即氣候狀況良好之1990年有較高的完整米率、直鏈澱粉含量及粗蛋白質含量較低，且膠體展延性較長，而氣候不佳之1991年則與1990年相反；不同地點間亦有相同的趨勢，除粗蛋白質含量外，完整米率及直鏈澱粉含量皆以離海岸最遠之富源村最高，而膠體展延性則相反，且試區間呈顯著性差異；品種間除粗蛋白質含量呈不規則變化外，其餘各性狀均呈極顯著差異，而且中晚熟品種之完整米率及直鏈澱粉含量有較高的趨勢，尤其是台中189號，但膠體展延性則以早熟品種較長，尤其是台稉1號。

Table 6. The physico-chemical properties of four rice varieties grown at 3 locations.

Variety	Location	Physico-chemical properties							
		Alkali spreading value		Amylose content(%)		Crude protein content(%)		Gel consistency (mm)	
		1990	1991	1990	1991	1990	1991	1990	1991
Taikeng 1	KW	7(L)	7(L)	18.80b	22.26a	8.14b	8.89a	99.3a	87.0a
	KF	7(L)	7(L)	19.56a	21.61a	8.55ab	9.19a	94.3a	74.8b
	FA	7(L)	7(L)	19.70a	22.33a	8.90a	8.98a	84.3b	71.8b
	Mean			19.35	22.07	8.53	9.02	92.6	77.8
	CV(%)			2.52	4.14	4.52	4.81	6.02	8.62
Kaohsiung 142	KW	7(L)	7(L)	19.05b	22.13ab	8.18a	8.79ab	92.5a	71.1a
	KF	7(L)	7(L)	20.78a	21.58b	8.25a	9.28a	90.8a	70.1a
	FA	7(L)	7(L)	20.33a	22.80a	8.43a	8.49b	93.6a	80.8a
	Mean			20.05	22.17	8.29	8.85	92.3	74.0
	CV(%)			2.97	3.12	4.57	4.86	5.79	15.38
Hsinchu 64	KW	7(L)	7(L)	19.05b	22.89a	7.85b	9.11b	91.8a	66.3a
	KF	7(L)	7(L)	20.25a	21.25b	7.87b	9.85a	87.8a	75.6a
	FA	7(L)	7(L)	20.53a	22.61a	8.60a	9.39ab	88.0a	63.6a
	Mean			19.94	22.25	8.11	9.45	89.2	68.5
	CV(%)			2.85	3.31	2.57	5.71	4.15	14.84
Taichung 189	KW	7(L)	7(L)	20.18b	22.33a	7.52c	9.51a	95.5a	76.3a
	KF	7(L)	7(L)	21.10a	22.88a	7.84b	9.24a	89.8b	47.0b
	FA	7(L)	7(L)	21.01a	23.38a	8.37a	9.47a	87.8b	64.1ab
	Mean			20.76	22.86	7.91	9.41	91.1	62.5
	CV(%)			5.56	4.52	2.38	8.31	4.56	8.09

L=Low gelatinization temperature.

The same litters in a column mean insignificant difference at 0.05 level by LSD.

Table 7. Comparisons of mean head rice rate(HR), amylose(AM), crude protein(PR) and gel consistency (GL) between years, among locations and varieties.

Property	Year		Location			Variety			
	1990	1991	K.W	K.F	F.A	TK 1	KS 142	HC 64	TC 189
HR	70.70a	67.75b	68.82b	68.43b	70.43a	68.27b	68.15b	70.27a	70.21a
AM	20.03b	22.34a	20.84b	21.12b	21.59a	20.71c	21.11b	21.10b	21.81a
PR	8.21b	9.18a	8.50a	8.76a	8.83a	8.77a	8.57b	8.78a	8.66ab
GL	91.31a	70.75b	85.00a	79.29ab	78.81b	85.27a	83.19a	78.88b	76.77b

TK 1=Taikeng 1, KS 142=Kaohsiun 142, HC 64=Hsinchu 64, TC 189=Taichung 189.
The same litters in a column mean insignificant difference at 0.05 level by LSD.

誌　謝

本試驗之米質分析承台中區農業改良場米質研究室協助，謹此致謝。本研究承農委會(80農建-9.1-林-25)補助，特以感謝。

引用文獻

江幡守衛、石川雅士 1989 イネの稔實，登熟おび粒質形成におよぼす風.雨の影響。日作紀 58(4)：555-561。

宋勳 1979 稻米品質劃分之可行性。台灣省台中區農業改良場農業彙報 新 2: 26-31。

坪井八十二 1961 水稻の暴風被害に關する生態的研究—作物の風害に關する研究(1)。農技研報 A8：1-156。

林孟輝、陳素娥、張學琨、林文龍 1994 東北季風對水稻生育之影響及防風林 之防護效果。中華農業氣象 1(3): 107-114。

郭益全、劉清、卜瑞雄、鍾德月 1985 栽培地點與稻米品質性狀之表現。中華 農業研究 34(2): 135-144。

郭益全、謝順景 1978 高蛋白水稻之育種研究。2.梗稻早晚熟品系間雜交後代 之米粒蛋白質含量、抽穗期及其他性狀之遺傳。中華農業研究 27：199-212。

許愛娜、宋勳 1988 稻米物理化學性質與食味間相關關係之探討(第一報)。台灣省台中區農業改良場研究彙報 18：31-39。

堀末登 1983 稻米之米質改良、檢定、分級及運銷。台灣農業 19：24-40。

曾文炳、朱鈞、郭文礫、楊之遠 1984 台灣地區農業氣候資源應用之研究。中 央氣象局出版 pp.69-109。

鈴木守、中村公則 1978 暖地水稻の收量成立過程にわける氣象要因の影響に關する二.三の解析。日作紀 46(4)：529-535。

Cagampang, G. B., C. M. Perez and B. O. Juliano.1973. A gel consistence test for eating quality of rice. J. Sci. Foot Agri. 24:1589-1594.

Chamura, S., H. Kaneco and Y. Salto. 1979. Effect of temperature at ripening period on the eating quality- Effect of temperature maintained in constant level during the entire ripening period. Japan J. Crop Sci. 48:475-482.

Chang, S. K. 1989. The cause of low yield of the second crop rice in relation to the measures of increasing its productivity in central Taiwan. Spe. Pub. No.9. p201. Taichung DAIS.

Hsu, T. H. 1976. Studies on the causes of low yield in second crop of rice in northern part of Taiwan-Influences of low temperature on the growth of rice plant with special references to the reproductive stage. Natl. Sci. Counc. Monthly, ROC 4: 2907-2919.

Ishizuka, Y. and A. Tanaka. 1969. Nutriophysiology of the Rice. Plant. Tokyo: Yokendo. Rev. ed. 364pp.

Jones, D. B., M. L. Peterson and S. Geng. 1979. Association between grain filling rate and duration and yield components in rice. Crop Sci.19:641-644.

Juliano, B. O. 1971. The chemical basis of rice grain quality. In:Proceedings of the workshop on chemical aspects of rice grain quality. pp.69-90. IRRI, Los Banos, Philippines.

Juliano, B. O., G. B. Cagampang, L. J. Crus and R. G. Santiago. 1964a. Some physiochemical properties of rice in Southeast Asia. Cereal Chem. 41:275-283.

Juliano, B. O., E. L. Albano and G. B. Cagampang. 1964b. Variability in protein content, amylose content and alkali digestibility of rice varieties in Asia. Philippine Agri. 48:234-241.

Kido, M. and S. Yanatori. 1965. Histochemical studies of protein accumulating process in rice grain. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 34:204-290.

Lin, A. C., K. L. Lai and L. F. Lee. 1979. Studies on the causes of low yield in the second crop plant. Ⅳ. Comparison of the characteristics of heading and ripening process between the first and second crop of rice plant. J. Agric. Assoc. China 107:17-24.

Maki, T. 1986. Functions and effect of windbreak facilities(1). Agric. and Hort. 61: 307-312.

McCall, E. R., J. F. Jurgens, C. L. Hoffpauir, W. A. Pons, S. M. Stark, A. F. Cucullu, D. C. Heinzelman, V. O. Cirion and M. D. Murray. 1953. Composition of rice. Influence of variety and environment on physical and chemical composition. J. Agric. Food Chem.1:988-993.

Onate, L. U., A. M. del Mundo and B. O. Juliano. 1964. Relationship between protein content and eating quality of milled rice. Philippines Agri. 48: 441-444.

Rosario, A. R., V. P. Briones, A. J. Vidal and B. O. Juliano. 1968. Composition and endosperm viewed with a scanning electron microscope Proc. Crop Sci. Soc. Japan 44:205-214.

SAS Institute Inc. 1987. SAS/STAT Guide for Personal Computer, Version 6 Ed. Cary, NC.

Tomar, J. B. and J. S. Nanda. 1984. Genetics of gelatinization temperature and its association with protein content in rice. Z. Pflanzenuchtg 92:84-87.

Webb, B. D., C. N. Bollich, C. R. Adair and T. H. Johnston. 1968. Characteristic of rice varieties in the USDA Collection. Crop Sci. 8: 361-365.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 313-330, 1996

氣象因子對大豆生產之影響

楊純明 李裕娟 蘇慕容
臺灣省農業試驗所農藝系作物逆境研究室

內 容

摘要……314
英文摘要……314
前言……315
氣象因子對大豆幼株生長之影響……315
氣象因子對大豆產量之影響……320
繁殖期氣象因子對大豆種子活力之影響……323
結語……327
誌謝……330
引用文獻……330

氣象因子對大豆生產之影響

楊純明　李裕娟　蘇慕容
臺灣省農業試驗所農藝系作物逆境研究室

摘　要

大豆(*Glycine max* L.)是原產於中國之大陸豆科豆屬植物, 在我國的栽種歷史非常悠久，早在距今3000年以前的殷商時期即有文字紀載, 乃中國傳統的五穀之一。鑑於大豆在國人日常飲食上的佔有的顯著地位, 及其作爲糧食作物的重要性，確有必要瞭解臺灣地區的大豆生產與氣象環境間的關係，以便未來在品種資源維護與延續上落實應用。大豆生育受環境的影響是相當明顯的，若不能充分瞭解氣象因子對大豆生產的效應，將無法選擇合適的栽植地區使大豆發揮其生產潛能，或採行人爲的栽培管理措施排除、減輕氣象逆境，獲得令人滿意的產量與品質。本文乃綜合作者近年的試驗結果做一全盤性的說明，使讀著明白氣象因子如何與大豆的生產過程息息相關，而深刻體會『栽種作物不違其時』的道理。

關鍵詞：大豆、氣象因子、幼株生長、產量、種子活力、發芽。

Effects of Agroclimatic Factors on Soybean Production

Chwen-Ming Yang, Yuh-Jyuan Lee and Muh-Rong Su Crop Stress Research, Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Insititute, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 41301, ROC

Abstract: The cultivation history of soybean in China can be traced back to more than 3,000 years ago in ancient Shang Dynasty. It became one of the traditional Five-grains in daily meals of Chinese people. In Taiwan, soybean once occupied an annual acreage of 60,000 hectares as a major dryland crop. Despite a down-sizing in production nowadays, soybean is still an important food crop and be emphasized in yield stability and grain quality for research. As the growth and yield of soybean are vulnerable to environmental stress, it is necessary to fully understand soybean-climate relations in order to improve cultural practices relieving soybean from climatic restraints. Such information is also required for selecting suitable climate for potentail soybean production. It is the purpose of this paper to sumarize the current research progress by the authors and to explain the reason why soybean should be planted on the right time.

Key words: Soybean, Climatic factors, Seedling growth, Yield, Seed vigor, Germination.

前　言

大豆(*Glycine max* L.)，或稱黃豆，在分類學上屬於豆科(Leguminosae)豆屬(Glycine)，爲一年生C_3型植物。大豆原產於中國大陸，早在距今3000年以前的殷商時期即有文字紀載，乃中國傳統的五穀之一，栽種歷史悠久。大豆的衍生產物用途很廣，不僅可供食用(如豆腐、豆干、豆漿等)，也可作爲食用油(如大豆油)、飼料(如豆餅、豆渣、豆粉等)。大豆植株也可當做綠肥使用，或調製成青刈草、青芻草、乾草等成爲飼料，甚至晒乾後用爲燃料。當做毛豆的大豆品系(種)，則以食用尙未黃熟的種仁爲主，著重鮮食風味。

由於農業科技的發展及對糧食的需求，和因應稻田轉作及水旱田輪種的需要，大豆在臺灣地區的栽培面積曾一度廣達5～6萬公頃之多，年產量超過6萬公噸(表一)。近年來隨著雜糧的大量進口及農業政策的調整，大豆的生產已逐年遞減，且政府預定自民國八十八年起停止包括大豆在內的雜糧保價收購。然而大豆的許多加工產品多爲國人傳統食物, 著重地方風味，同時在品種資源維護與延續上亦有種原保存的必要，因此大豆的栽植仍有適量的需要。臺灣地區未來的大豆生產將朝穩定的產量、優良品質、與地方特色等方向進行，故研發工作也應配合執行才能落實。

爲獲得高品質的大豆，首當瞭解大豆生產與氣象環境的關係，據以適期栽種符合其遺傳組成特性，發揮其生產潛能。大豆自播種起，其幼株出土與建立即受到氣象條件的限制，爾後植株的生長、發育、乃至於開花、結實等莫不受氣象因子的影響。尤有甚者，繁殖期間的氣象變化也控制著種子未來的表現，如發芽百分比的高低與幼苗生長的快慢等，均因種子的組成分與活力不同呈現差異。由於特殊的地理條件與地形特徵，臺灣地區的氣象變化十分豐富，爲期究明氣象因子對大豆生產的影響，作者乃進行系列田間試驗以深入探討。本文即綜合近年的試驗結果闡述，試以解析大豆生育與氣象環境的關係，提供識者參考。

Table 1. Changes of soybean cultivation area and production in Taiwan from 1940-1994.

Year	Cultivation area	Yield per hectare	Annual production
	ha	kg ha^{-1}	ton
1940	4257	631	2683
1945	7405	264	1957
1950	20300	618	12543
1955	34510	700	24150
1960	59665	882	52653
1965	53176	1236	65709
1970	42749	1525	65174
1975	41446	1495	61920
1980	15329	1692	25934
1981	10312	1543	15883
1982	7782	1548	12043
1983	5594	1536	8592
1984	5535	1725	9546
1985	7118	1717	12211
1986	9449	1605	14890
1987	9017	2002	18043
1988	7923	1901	14641
1989	5854	1915	10956
1990	4213	1945	8140
1991	4043	2061	8333
1992	4195	2173	8562
1993	5421	2355	12715
1994	5691	2110	12005

(Adapted from Taiwan Agricultural Yearbook, 1941-1995)

氣象因子對大豆幼株生長之影響

氣象環境是決定作物能否發揮其遺傳潛力最重要的變數之一，因此在先進國家的農業生產體系中，特別重視農業氣象的

研究與應用。在作物的栽培期間其生長發育受到許多氣象因子的調節，然而各氣象因子間常相互影響，增加了釐清的困難。所以針對氣象條件對作物影響的試驗，常以控制環境下單一或兩個氣象因子進行(Baker et al., 1089; Britz, 1990; Hammer and Vanderlip, 1989; Reddy et al., 1992; Tollenaar, 1989; Yang, 1990)。雖然控制環境下的試驗結果，在資料取得與分析上較易精準的掌握，若欲應用於田間栽培則有不夠周延之嫌。因爲自然狀況下的氣象變化係所有氣象因子的組合，含有時間與空間的變異，而且作物在田間的生長行爲與控制環境內的表現並不完全一致。因此田間試驗雖然繁複、耗時費力，但是憑藉試驗統計方法，仍能分析與歸納出合理結果，提供作物較爲眞實一面的實際表現。

當大豆播種於田間後，早期的生長不僅决定族群是否完整建立，也影響後期的生育優劣。因此瞭解氣象環境對大豆幼株生長表現的效應，除了解釋適期栽種的重要性外，更提供有用的栽培管理資訊，以利採行有效的措施來人爲改善田間微氣象，提高大豆幼株的生長效率。經由田間週年栽培(1994年)試驗，Su et al. (1996)發現三週齡大豆(參試品種爲高雄選一號KS1、高雄二號K2、高雄三號K3、及高雄選十號KS 10)幼株的生長差異與氣象環境相關(圖一)，莖高以溫暖月份(6～8月)較高，且品種間存有差異。每株葉片數與葉面積也因爲栽植月份的不同氣象組成而有不同，各品種在不同月份的變化趨勢類似，以4～8月較高，但品種間差異顯著。

Table 2. Changes of agrometeorological factors during the early growth phase of soybeans planted in 1994-1995.

Planting month	Accu.@ temp	Accu. irrad.	Accu. SH	Accu. precip.	Avg. WS	Avg. RH	Accu. evap.
	℃	MJ m^{-2}	hr	mm	m s^{-1}	%	mm
JAN	376. 8	215. 77	118. 9	22. 5	2. 33	79. 05	6. 3
FEB	364. 0	143. 44	47. 7	125. 0	2. 49	83. 88	4. 0
MAR	351. 0	148. 86	39. 4	51. 0	2. 56	82. 06	40. 3
APR	494. 3	278. 36	49. 4	9. 0	2. 50	82. 28	76. 0
MAY@@	522. 2	223. 93	22. 0	99. 5	2. 00	84. 48	59. 6
JUN	571. 4	297. 27	121. 7	171. 0	2. 96	na@@@	69. 9
JUL	560. 8	287. 03	102. 5	243. 5	2. 55	77. 32	70. 5
AUG	665. 3	367. 74	156. 3	132. 5	2. 99	78. 91	89. 4
SEP	491. 4	256. 97	80. 1	5. 0	2. 22	77. 68	68. 7
OCT	496. 8	252. 70	115. 8	6. 5	2. 78	79. 53	67. 2
NOV	448. 5	220. 08	148. 7	0	1. 75	80. 45	43. 1
DEC	453. 0	163. 98	85. 3	10. 0	2. 20	81. 08	43. 8

@: Accumulated daily mean air temperature, accumulated daily irradiance, accumulated daily sunshine hours, accumulated daily precipitation, average wind speed, average relative humidity, and accumulated daily evaporation.

@@: in 1995.

@@@: not available. (After Su et al., 1996)

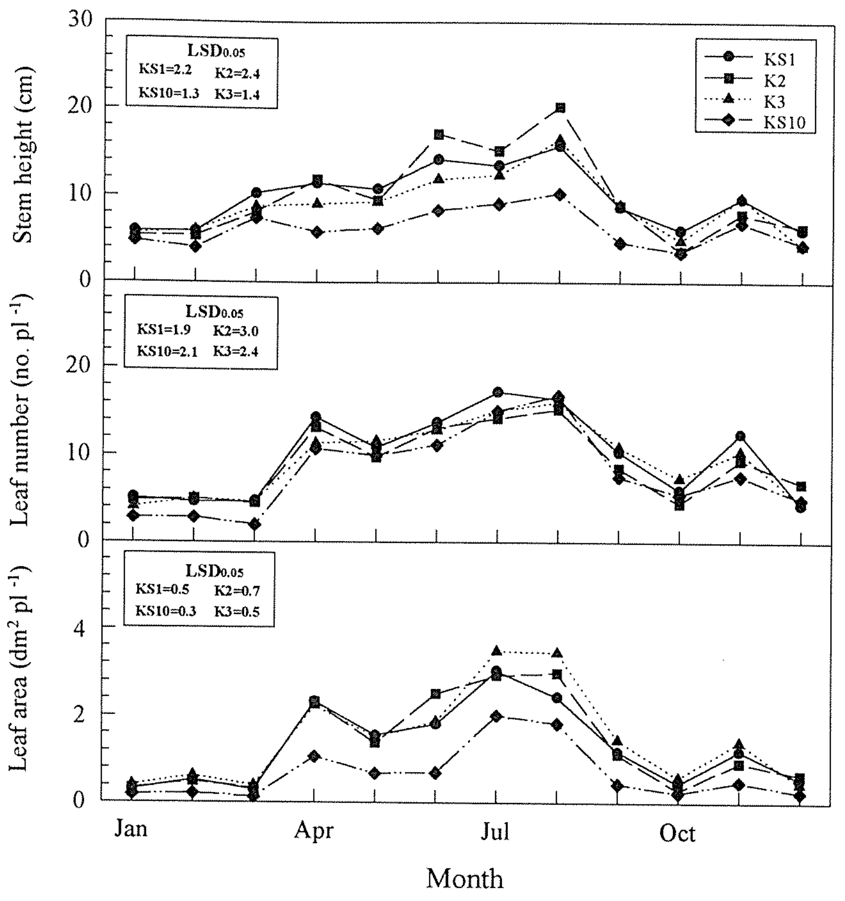


Fig 1. Effect of planting months on growth characters of 3-wk old soybean plants in 1994-1995.

大豆幼株乾物質的蓄積亦受到氣象因子的影響，如圖二所示，各品種均以4～8月份所蓄積的乾物重較高，1～3月間的較低。對照表二的氣象資料，初步發現4～8月栽培期間的累積氣溫、日射量及日照時數皆高，且雨量充足;而1～3月的氣溫明顯偏低，日射量不足。(莖稈/根)重量比也隨著栽植月份的氣象條件而異，比值明顯較低的月份爲2、10及12月。將週年內各栽植期(三週)的氣象資料進行相關分析後，顯示以累積氣溫與累積日射量的相關係數最大(表三)，達0.908 ($P < 0.01$)。此兩項是促進大豆幼株生長的主要氣象因子，而兩者並不互相獨立。另外，累積氣溫及累積日射量分別與累積蒸發量的相關係數也高達0.862及0.800，顯示其關係密切。相對濕度與其他氣象變數則皆呈顯著的負相關，值得注意。

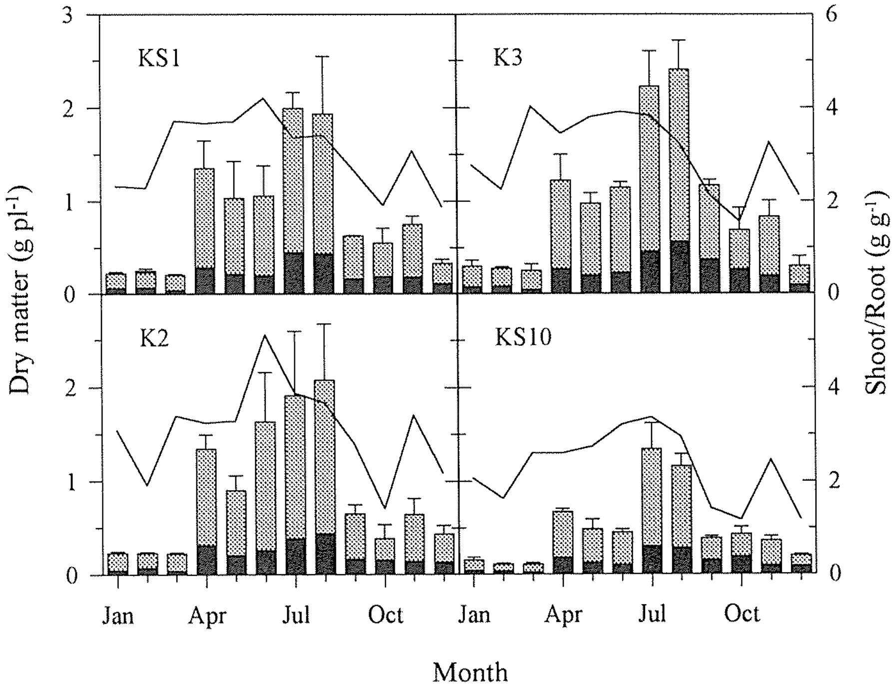


Fig 2. Effect of planting months on dry matter and shoot/root ratio of 3 wk old soybean plants in 1994-1995. The solid bars are dry weight of root and the shaded bars are dry weight of stem plus leaf. Standard deviation is included.

由氣象因子對葉面積及植株乾物重的逐步回歸分析結果，發現以累積日射量的平方項對葉面積的貢獻最大，淨F值測驗達538.95(表四)。最後模式的決定係數爲0.8994，累積日射量的平方項一項的淨決定係數即達0.8(資料未列出)。由於前述氣溫與日射量的高度相關(r= 0.908)，導致累積溫度對葉面積的影響隱匿於累積日射量中，模式未直接顯示氣溫對葉面積的特別重要性。進入模式之其他五項氣象變數雖通過0.05及0.1的進入與剔除門檻，相較於累積日射量的平方項對模式的貢獻較小。植株乾物重的氣象模式表現類似趨勢(表四)，亦以累積日射量的平方項貢獻最大，淨F值達670.09，其餘三項淨F值皆小於40。而累積氣溫的效應仍隱匿在累積日射量的作用中，不能被單獨評估。以上綜合四品種的分析結果雖然顯示累積日射量的平方項是最具決定性的氣象因子，但實際上溫度效應與日射量是聯結在一起的，兩者共同影響而不可區分。另不同大豆品種皆可單獨建立其氣象模式，獲得一套參數估値，這也說明了氣象因子對大豆農藝性狀的效應存在品種間的歧異，各品種最主要的影響因子是累積日射量的平方項，而次要因子各品種則或有不同。

Table 3. Correlation analysis of agrometeorological factors during growth of 3-wk old soybean plants in 1994-1995.

Trait	Accu.@ temp	Accu. irrad.	Accu. SH	Accu. precip.	Avg. WS	Avg. RH	Accu. evap.
Accu. temp	1. 000						
Accu. irrad.	0. 908 **	1. 000					
Accu. SH	0. 442 **	0. 555 **	1. 000				
Accu. precip.	0. 466 **	0. 355 **	0. 062 ns	1. 000			
Avg. WS	0. 430 **	0. 497 **	0. 235 **	0. 459 **	1. 000		
Avg. RH	-0. 390 **	-0. 551 **	-0. 703 **	-0. 106 ns	-0. 254 **	1. 000	
Accu. evap.	0. 862 **	0. 800 **	0. 218 **	0. 207 *	0. 374 **	0. 344 **	1. 000

@ : Accumulated daily mean air temperature, accumulated daily irradiance, accumulated daily sunshine hours, accumulated daily precipitation, average wind speed, average relative humidity, and accumulated daily evaporation.

*, ** and ns: Significant at $\alpha = 0.05$, 0.01 level and not significant, respectively.

(After Su et al., 1996)

Table 4. Stepwise regression for leaf area and plant dry matter of 3-wk old soybean plants on agrometeorological factors.

SOV	df	SS	MS	F	Prob > F	Model R^2
Leaf area						
Regression	6	2783999.67	463999.95	187.84	0.0001	0.8994
Residual	126	311240.02	2470.16			
Plant dry matter						
Regression	4	120.50	30.13	299.33	0.0001	0.9048
Residual	126	12.68	0.10			

Step	Variable entered	Parameter estimated	Standard error	Partial F
Leaf area				
1	Accu. irrad.^{2}@	2.92×10^{-3}	4.32×10^{-4}	538.95
2	Accu. precip.	7.57×10^{-1}	7.83×10^{-2}	42.61
3	Avg. WS	-89.75	16.41	16.04
4	Accu. evap.	1.59	3.33×10^{-1}	15.32
5	Avg. RH	2.20	4.98×10^{-1}	8.32
6	Accu. temp.^{2}	-6.27×10^{-4}	1.84×10^{-4}	11.57
Plant dry matter				
1	Accu. irrad.^{2}	1.06×10^{-5}	1.50×10^{-6}	670.09
2	Accu. precip.	3.43×10^{-3}	4.16×10^{-4}	36.11
3	Avg. WS	-1.78×10^{-1}	2.96×10^{-2}	20.19
4	Accu. evap.	7.06×10^{-3}	1.67×10^{-3}	17.77

@ : The square of accumulated daily irradiance, accumulated daily precipitation, average wind speed, accumulated daily evaporation, average relative humidity, and accumulated daily mean air temperature. (After Su et al., 1996)

氣象因子對大豆產量之影響

無論係有限型或無限型的大豆都受到氣象環境的影響，改變其生長與產量(Huang and Tsaur ， 1994) 。 Sinclair and Rawlins (1993)指出以未來全球氣候變遷的趨勢，大豆生產的變異性將增大，然而其增產的潛能也相對的增加。為瞭解氣象因子對大豆產量的影響，Yang and Fan (1996)乃實際調查田間週年栽培(1994年)的大豆產量，分析其與氣象環境的關係。Yang and Fan (1996)之試驗顯示，大豆的籽粒產量及種子產量均因繁殖期及品種呈現顯著差異，繁殖期與品種間並出現明顯交感(表五)。此一結果

表示大豆的產量表現與繁殖期的氣象條件相關，而品種間的差異性亦達顯著。由於種子產量與籽粒產量呈正相關(資料未列出)，同時感受氣象變因效應，甚且種子大小也出現明顯差異(圖三)，為獲得高品質的種子勢必慎選合適氣象條件的播種期。

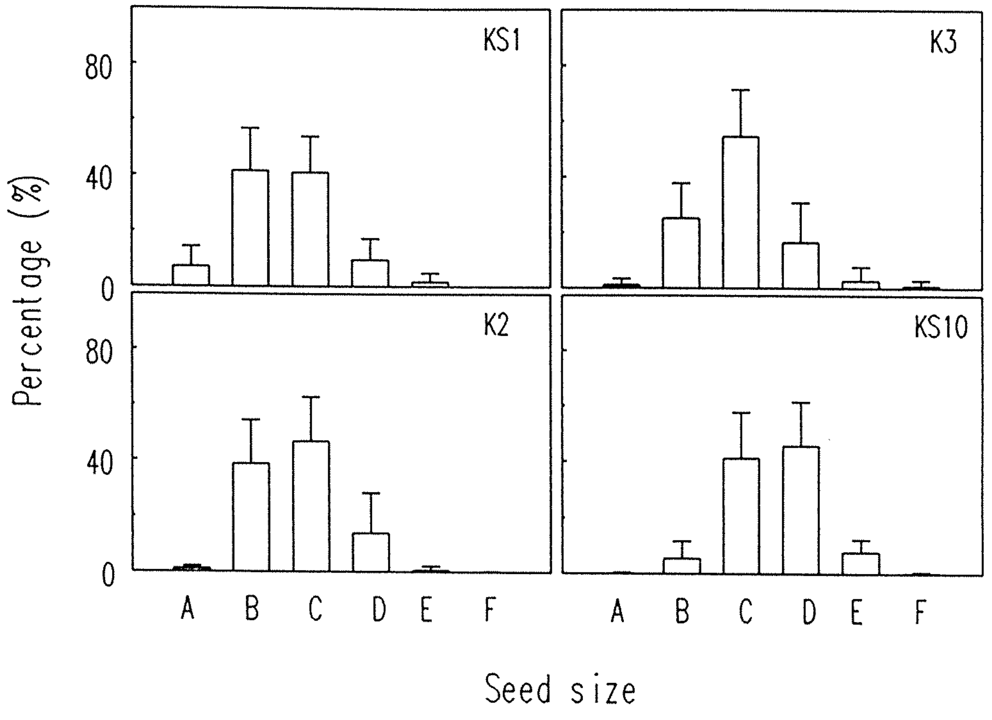


Fig. 3. The distribution of seed size of soybean from annual cultivation in 1994. (After Yang and Fan, 1996)

Table 5. Analyses of variance for grain and seed yields of soybeans planted from January to December in 1994.

SOV	Yield: Grain	Yield: Seed
Planting date (P)	**	**
Genotype (G)	**	**
P x G	**	**

**: Significant at 0.01 level. (After Yang and Fan, 1996)

Table 6. Regression analyses of soybean yields and climatic factors during the growing periods of soybeans planted in 1994. (After Yang and Fan, 1996)

Yield	Climatic factor	Regression equation	r
Grain yield (GY)	ADMT	GY= -1352.667+1.227 ADMT	0. 472**
	ADIR	GY= -846.351+2.057 ADIR	0. 467**
	ADPR	GY= 900.096+1.649 ADPR	0. 578**
	ADMT, ADIR	GY= 12497.000-35.467*ADMT+50.500*ADIR-0.006*ADMT*ADIR+0.009*ADMT^2-0.016*ADIR^2	0. 759**
	ADMT, ADPR	GY= -10724.000+14.470*ADMT-24.945*ADPR+0.014*ADMT*ADPR-0.004*ADMT^2 -0.007*ADPR^2	0. 696**
	ADIR, ADPR	GY= -9049.461+20.497*ADIR-12.736*ADPR+0.012*ADIR*ADPR-0.010*ADIR^2 -0.001*ADPR^2	0. 754**
	ADMT,ADIR,ADPR	GY= -1021.693-9.418*ADMT+29.313*ADIR-19.455*ADPR-0.013*ADMT*AADIR+0.016*ADMT*ADPR-0.009*ADIR*ADPR+0.004*ADMT^2+0.002*ADIR^2-0.007*ADPR^2	0. 819**
Seed yield (SY)	ADMT	SY= -1158.883+0.946*ADMT	0. 381**
	ADIR	SY= -724.770+1.551*ADIR	0. 369**
	ADPR	SY= 544.075+1.351*ADPR	0. 496**
	ADMT,ADIR	SY= 12657.000-32.215*ADMT+43.403*ADIR-0.004*ADMT*ADIR+0.008*ADMT^2 -0.015*ADIR^2	0. 685**
	ADMT,ADPR	SY= -10043.000+23.258*ADMT-16.088*ADPR+0.016*ADMT*ADPR-0.012*ADMT^2 -0.003*ADPR^2	0. 662**
	ADIR,ADPR	SY= -9049.461+20.497*ADIR-12.736*ADPR+0.012*ADIR*ADPR-0.010*ADIR^2 -0.001*ADPR^2	0. 730**
	ADMT,ADIR,ADPR	SY= -2700.407-8.087*ADMT+30.287*ADIR-21.839*ADPR-0.011*ADMT*ADIR+0.014*ADMT*ADPR-0.002*ADIR*ADPR+0.003*ADMT^2 -0.002*ADIR^2 -0.008*ADPR^2	0. 771**

ADMT, ADIR and ADPR: accumulated daily mean temperature, irradiance and precipitation for the growing period, respectively.

*, **: significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

從回歸分析結果發現，大豆籽粒及種子產量受到氣象因子的影響，生育期間的累積氣溫、累積日射量、及累積降水與產量呈顯著的相關，且相關係數隨著因子的增加而升高(表六)。顯然的，繁殖期間的氣象環境密切關係著大豆產量的高低，其中又以氣溫、日射量及降水量的效應最突顯。此外，大豆的百粒重也有類似的結果(資料未列出)，仍然以這三項因子爲主要的模式變因。因此，如同大豆的生長影響一般，應慎選適當的栽種季節(或繁殖期)、合適的氣象因子組合，才能預期並確保穩定的大豆產量表現。

繁殖期氣象因子對大豆種子活力之影響

除了生長與產量之外，大豆種子的大小、組成分、活力及儲藏壽命也隨著繁殖季節而異，影響種子的品質。而種子品質的好壞，關係著作物出土率的高低、幼株的强弱、及族群建立的良窳，乃至作物的最終產量(Steiner et al., 1989; Tekrony and Egli, 1991; Wilson et al., 1992)。Lee et al. (1996)乃以田間試驗來探討繁殖期的氣象環境對大豆種子活力的影響，進一步以模式分析解釋氣象因子對大豆種子發芽與胚根伸長行爲的效應。由圖四顯示，不同繁殖期所生產的大豆種子發芽百分比並不一致，換言之，種子的發芽行爲受到繁殖期氣象環境的影響。若逕將發芽百分比與氣象因子作相關分析，可以發現高雄二號(K2)及高雄三號(K3)的發芽百分比與繁殖期間的累積日射量、累積氣溫、及累積降水量呈負相關，高雄選十號(KS10)則僅與前兩項有關(圖五A、五B及五C)，據此可知品種間對氣象因子的反應有別。

進一步做逐步複回歸分析以瞭解多因子的綜合效應後，發現高雄二號及高雄選十號的種子發芽百分比與繁殖期間的累積日射量及累積降水量呈二元一次複相關，高雄三號則與累積降水量及累積氣溫呈二元一次複相關，品種間亦存有差異(表七)。由此可知，除了種子含水量外，氣象因子亦爲影響種子活力的因素之一。

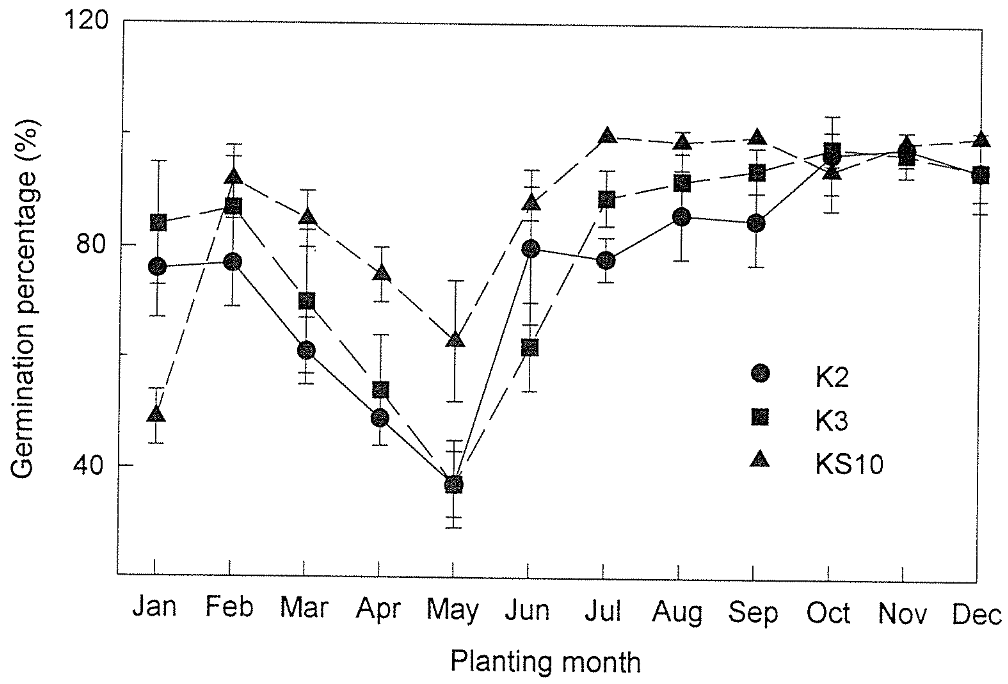


Fig 4. Germination percentage of *Glycine max* L. obtained from different planting months in 1994.

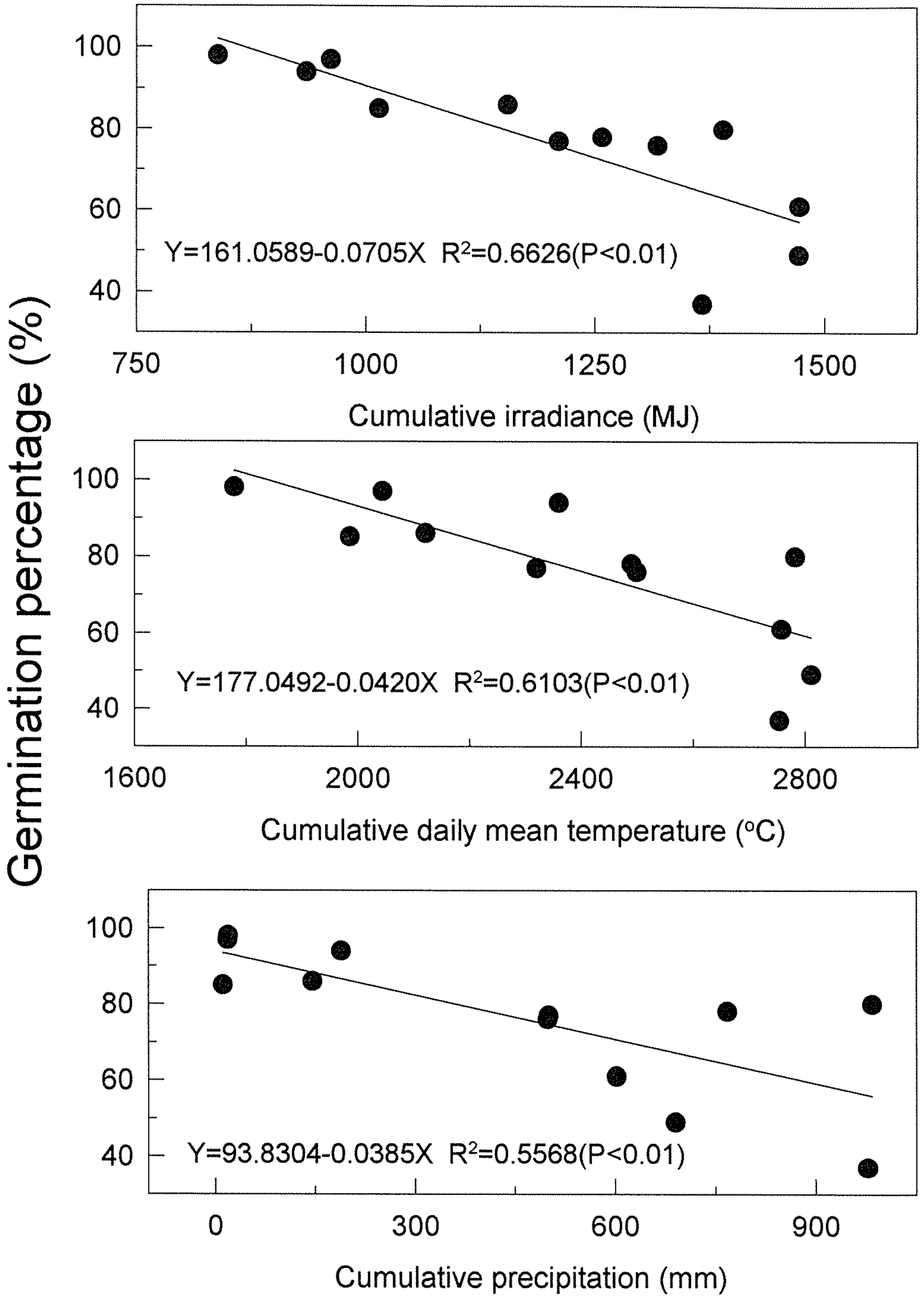


Fig 5A. The correlations of cumulative irradiance, daily mean temperature, and precipitation and germination percentage of *G. max* L. cv. Kaohsiung No.2 grown in 1994.

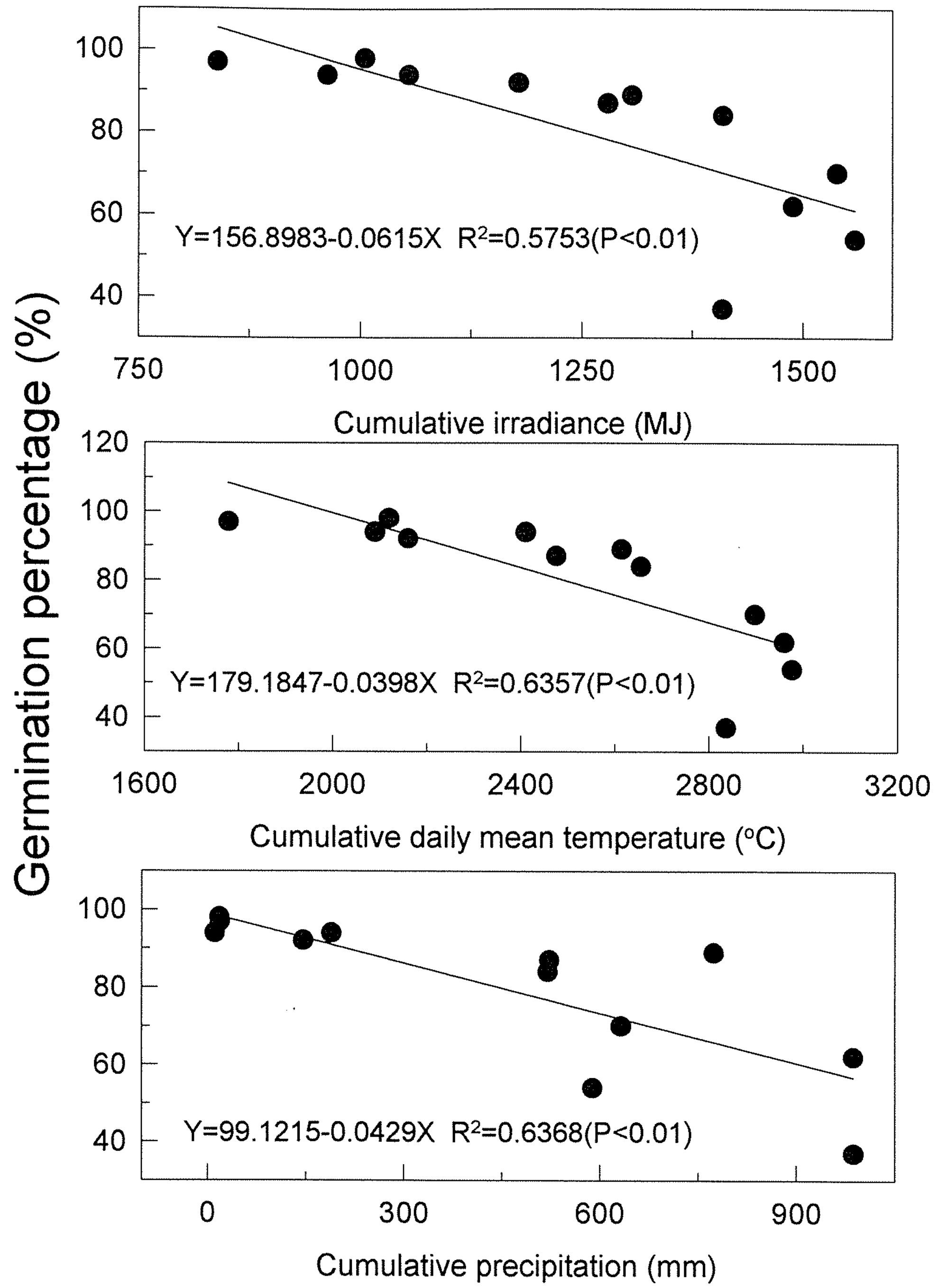


Fig 5B. The correlations of cumulative irradiance, daily mean temperature, and precipitation and germination percentage of *G. max* L. cv. Kaohsiung No.3 grown in 1994.

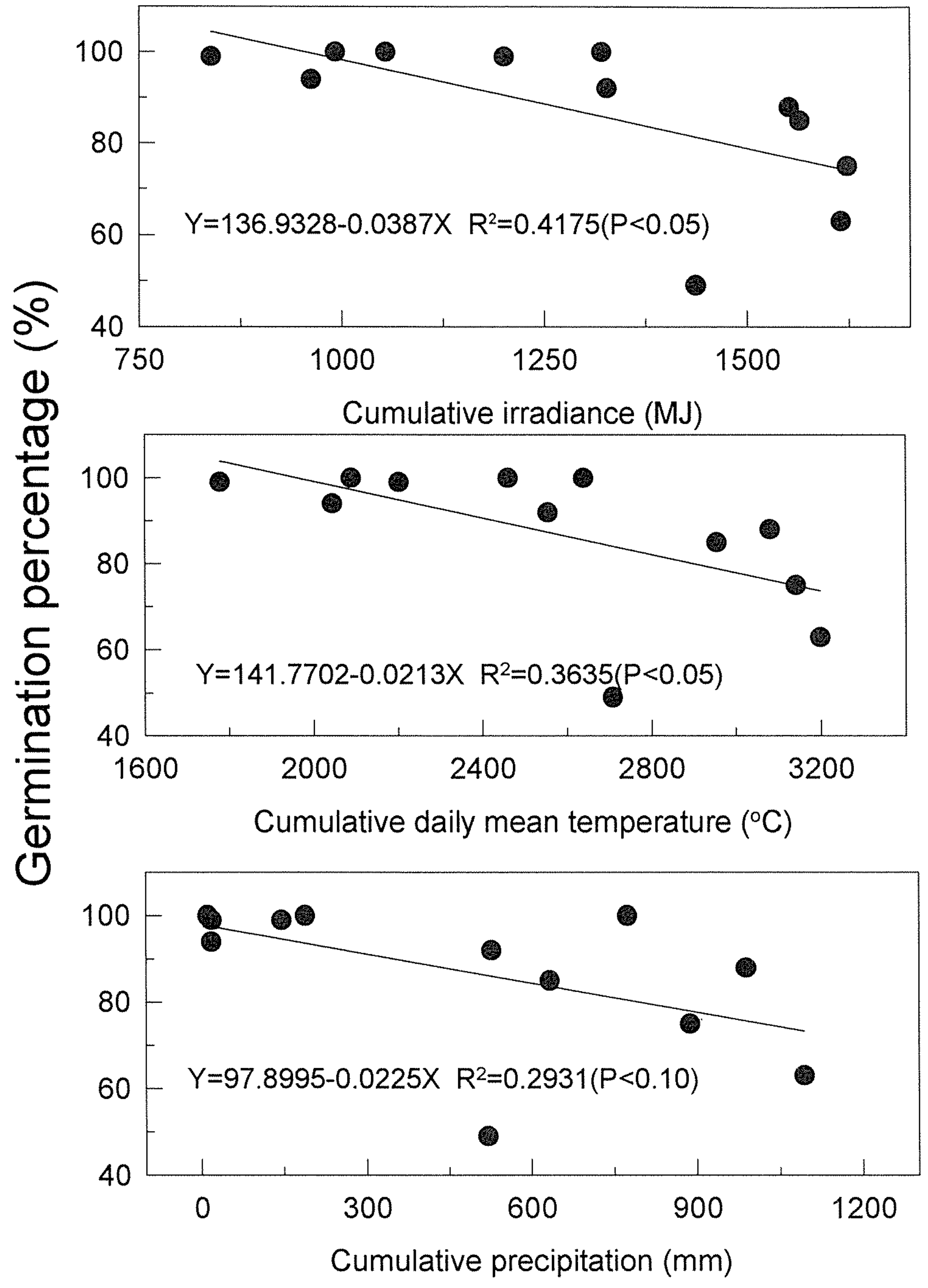


Fig 5C. The correlations of cumulative irradiance, daily mean temperature, and precipitation and germination percentage of *G. max* L. cv. Kaohsiung Sel.10 grown in 1994.

Table 7. Regression analyses of climatic factors and germination percentage of soybeans grown in 1994.

Cultivar	Parameter	Equation	R^2	P
K2	X1	Y= 161.040-0.071 X1	0.6625	0.0013
	X1，X3	Y= 147.978-0.056 X1-0.010 X3	0.6741	0.0064
K3	X3	Y= 100.282-0.044 X3	0.7089	0.0006
	X2，X3	Y= 116.765-0.008 X2-0.036 X3	0.7131	0.0036
KS10	X1	Y= 136.929-0.039 X1	0.4174	0.0232
	X1，X3	Y= 151.413-0.054 X1+0.012 X3	0.4313	0.0789

Y: Germination percentage (%).
X1: Cumulative irradiance (MJ m^{-2}) over growing period.
X2: Cumulative daily mean temperature over growing period.
X3: Cumulative precipitation over growing period. (After Lee et al., 1996)

Lee et al. (1996)並試以Weibull function分析週年栽培試驗各繁殖期生產的大豆種子發芽行為，結果顯示Weibull function適用性極高，相關係數皆達0.97以上(資料未列出)。其中，累積發芽百分比以7～12月份較穩定，可達80%以上; 4～6月份的較差，甚至低於50%。品種間存有差異，高雄二號及高雄三號對低溫環境較敏感，高雄選十號則適應性佳，全年生產的種子發芽百分比均超過75%。圖六將各品種各月份的發芽行為綜合顯示，雖然高低有別，但是皆符合Weibull function分布。所歸納分析得到的曲線及其方程式，可以解釋99%以上的資料變異。

大豆種子胚根伸長趨勢，則適用於Richards function來解釋(圖七)，各品種各月份的伸長程度差距頗大，且品種間存有差異。圖七所歸納分析得到的各品種代表曲線及其方程式，也能夠解釋99%以上的資料變異。三品種的速率常數和曲線形狀類似，而高雄選十號的漸近線最大值高於另兩品種。綜此結果，再次證明氣象因子對大豆發芽行為的影響，然而藉由適當的模式函數，仍可以歸納出條理。

結　語

欲充分發揮作物的生產潛能，獲得令人滿意的產量與品質，適時適地適作原則是必須遵守的。經由上述試驗結果的證明，大豆的生育受到氣象環境的影響是十分明顯的。不同的地區有其特有的氣象環境，當然就有其特別的生長季節，違逆作物的栽種適期使喪失其特別適應性，終將得不償失、事倍而功半。

瞭解氣象因子對大豆生產的影響，將不僅提供必要的資訊以利育種工作的實際需要，相對的也告訴了栽種者大豆對環境的適應性與適應能力，得以選擇適當的環境進行大豆的栽種。此一資訊同時提供栽培管理正確的思考路徑，據以研擬出合理的管理策略，或研發出有效的栽培措施，給予大豆適時的調適去減輕或避免氣象逆境，維繫大豆生產系統的穩定性，更以維

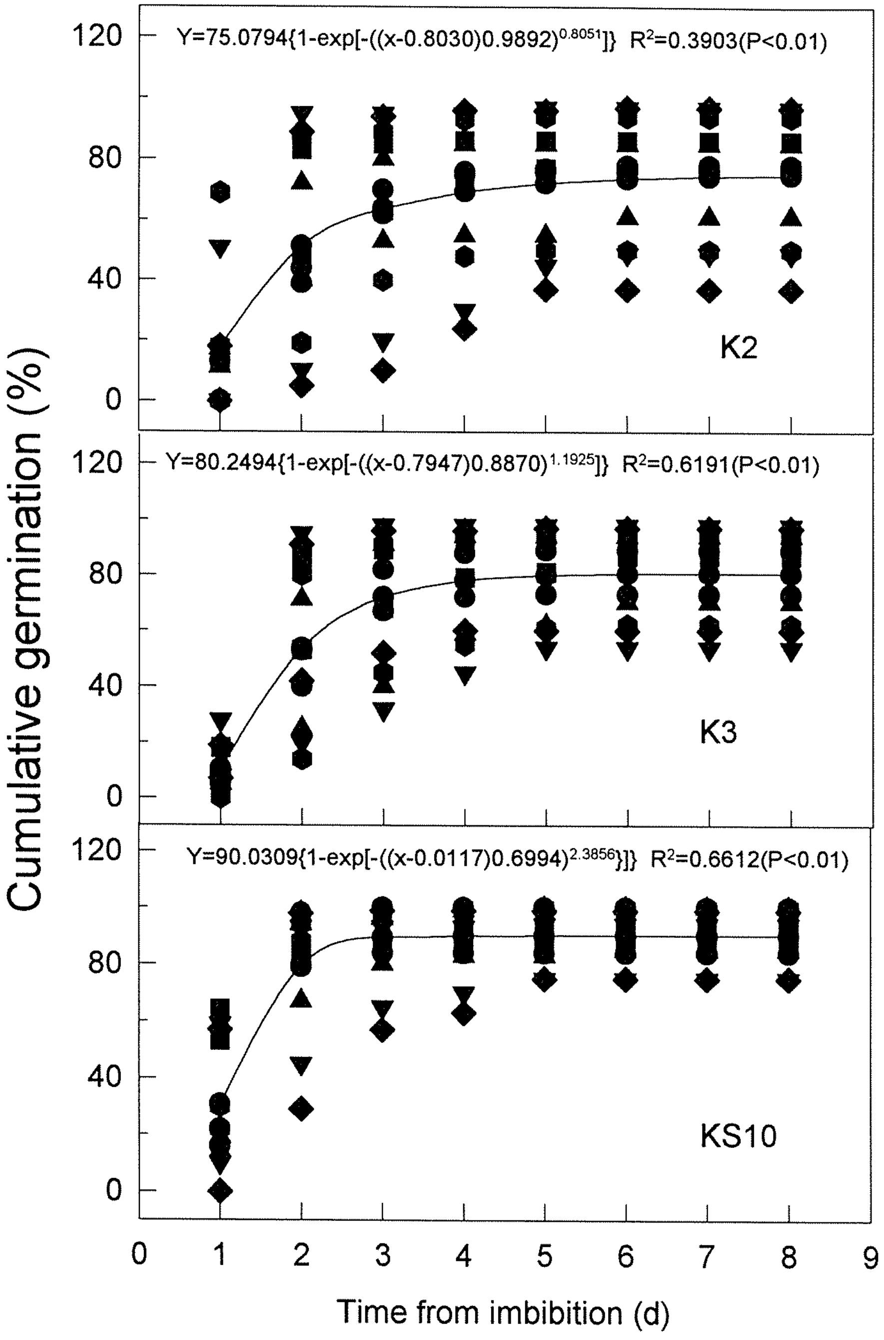


Fig 6. The fitted curves from Weibull function developed from the measured values of the cumulative germination set of *Glycine max* L. grown in 1994.

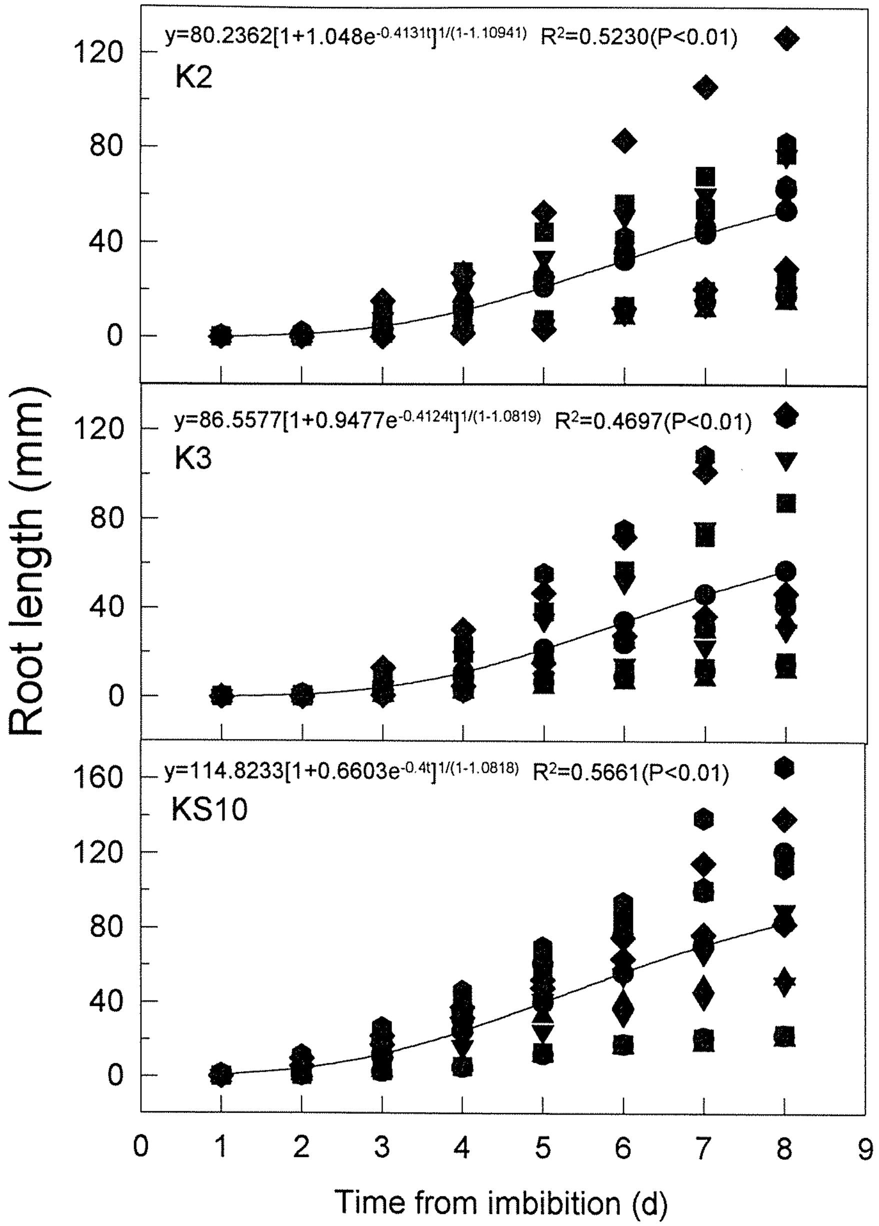


Fig 7. The fitted curves from Richards function developed from the measured values of the root length set for *Glycine max* L. grown in 1994.

持農民收穫物的保障。

誌　謝

臺灣省農業試驗所研究報告第1837號。本文研究承行政院農業委員會經費補助(84科技-23-糧-13-(1-13)，85科技-1.5-糧-01(15))，特此致謝。

引用文獻

Baker, J. T., L. H. Allen, Jr., K. J. Boote, P. Jones and J. W. Jones. 1989. Response of soybean to air temperature and carbon dioxide concentration. Crop Sci. 29: 78-105.

Britz, S. J. 1990. Regulation of photosynthate patitioning into starch in soybean leaves. Plant Physiol. 94:350-356.

Hammer G. L. and R. L. Vanderlip. 1989. Genotype-by-environment interaction in grain sorghum. I. Effect of temperature on radiation use efficiency. Crop Sci. 29: 370-376.

Huang, H.-J. and W.-L. Tsaur. 1994. Planting date effects on the growth and yield of determinate and indeterminate soybeans. J. Agric. Res. China 43:373-380.

Lee, Y.-J., C.-M. Yang, M.-R. Su and M.-J. Fan. 1996. Modeling climatic effects on seed germination of soybean (in Chinese). Chinese J. Agron. (submitted)

Reddy, K. R., V. R. Reddy and H. H. Hodges. 1992. Temperature effects on early season cotton growth and development. Agron. J. 84: 229-237.

Sinclair, R. R. and S. L. Rawlins. 1993. Interseasonal variation in soybean and maize yields under global environmental change. Agron. J. 85:406-409.

Steiner, J. J., D. F. and M. Tulo. 1989. Single and multiple vigor tests for predicting seedling emergence. Crop Sci. 29: 782-786.

Su, M.-R., C.-M. Yang and Y.-J. Lee. 1996. Response of soybean growth in early growing phase (in Chinese). J. Agric. Assoc. China (submitted)

Tekrony, D. M. and D. B. Egli. 1991. Relationship of seed vigor to crop yield: a review. Crop Sci. 31:816-822.

Tollenaar, M. 1989. Response of dry matter accumulation in maize to temperature: I. Dry matter partitioning. Crop Sci. 29: 1239-1246.

Wilson, D. O., Jr., J. C. Alleyne, B. Shafii and S. K. Mohan. 1992. Combining vigor test results for prediction of final stand of shrunken-2 sweet corn seed. Crop Sci. 32: 1496-1502.

Yang, C.-M. 1990. Effects of high temperature upon photosynthesis, respiration, and growth and yield of rice plants: A controlled environment study. Ph.D. diss. Texas A&M Univ., College Station, Texas, USA.

Yang, C.-M. and M.-J. Fan. 1996. Soybean yields response to planting dates and climatic factors. Chinese J. Agromet. 3: 9-16.

畜舍微氣候對乳牛產乳性狀影響之研究

徐森雄[1]　劉炳燦[2]

[1]. 國立屏東技術學院水土保持技術系
[2]. 畜牧生產技術系

內　容

摘要……332
英文摘要……332
前言……333
材料與方法……333
結果與討論……334
結論……342
引用文獻……342

畜舍微氣候對乳牛產乳性狀影響之研究

徐森雄[1] 劉炳燦[2]

1. 國立屏東技術學院水土保持技術系
2. 畜牧生產技術系

摘 要

本研究在國立屏東技術學院畜牧場乳牛舍架設各項微氣候調查儀器，逐日記錄全天日射量、地面反射量、氣溫、濕度、風速、地表溫度、棚頂溫度、以及牛乳產量等。並定期依乳業發展協會之乳質檢測方法檢測生乳中之乳脂肪、乳蛋白質和乳糖等生乳組成分之含量。從1992年7月至1995年6月30日之資料分析結果，除充分瞭解逐日、各月份或季節內牛舍接受之日射量、地面反射量，舍棚內外溫度、濕度、地表溫度、及風速等微氣候狀態外，更清楚顯示牛乳之產量與畜舍之溫濕度指數(THI)呈負相關。THI與乳脂率於全年、涼季或熱季均呈顯著至極顯著之負相關關係，但對乳糖含量之影響則不顯著。將試驗期間，計49頭一產乳期之產乳性狀加以分析後，得悉於涼、熱兩季內開始產乳之乳牛頭數，其產乳日數泌乳期之平均總產乳量等項之差異均不顯著，然週平均之隻日產乳量則具顯著之差異性。綜合本研究全程之觀測資料顯示，年平均溫濕度指數偏高之畜舍微氣候，將不利於乳牛產乳性狀之表現。

關鍵詞：畜舍微氣候，乳牛，產乳性狀，溫濕度指數。

Effect of Microclimate on Lactational Characteristics in Dairy Cows

Sen-Hsiung Hsu[1] and Bing-Tsan Liu[2] (Dept. of Soil and Water Conservation[1] and Dept. of Animal Production[2], National Pingtung Polytechnic Institute)

ABSTRACT: Series of experiments were conductcd to examine the milk production and nutrient composition in the milk from dairy cows that would be affected by the microenvironment in stock farms. The microenvironment includes daily solar radiation, air temperature, relative humidity, wind speed, surface temperature of the floor and roof temperature under the shelter. Daily or seasonal Temperature-Humidity Index (THI) as well as variance of microclimatical condition were established during the experimental period. Mean THI was higher in hot season (May to Oct.) and lower in cool season (Nov. to Apr.) and the seasonal effect on THI was significant. Furthermore, there was a significantly adverse effects on daily production, milk days, and total acture milk production. Results of the study suggest that hyperthermal microenvironment is deleterious to lactational characteristics in dairy cows. Also, the established microclimatical information could be used for improvement of the dairy barn structure and lactative efficiency.

Key words: Microclimate of dairy farm, Dairy cows, Characteristics of milk production, Temperature-Humidity Index (THI).

一、前 言

本省海島型之氣候特性，夏季高溫多濕，易對原產於溫帶之乳牛(荷蘭種)造成熱緊迫，導致生理機能紊亂，以致於生育能力低下，不利於乳牛懷孕-分娩-泌乳之生理機序，因而夏季生乳總產量下降。高溫多濕之環境，將增加乳牛體內熱負載（Heat loading）(Ingraham et al., 1974）。終至反應於產乳量之減少，並改變生乳組成分含量（Mody，1967）。乳牛屬恆溫動物，具體溫調節中樞，可經由該中樞之運作，藉物理或化學方式調節體溫，以適應環境，維持生活上之舒適感，然其調節能力亦受環境因子如溫度、濕度等之影響，特別是本省地處亞熱帶-熱帶，夏季高溫多濕之海島型氣候狀態，瞭解其影響乳牛泌乳性狀更是迫切需要，若能監測畜舍微氣候環境，並以溫濕度指數(Temperature-Humidity Index, THI）表示乳牛體內之熱負載，當更能貼切顯示乳牛生理功能受微氣候環境影響之程度。本報告係三年持續性研究計畫(1992年7月～1995年6月)之成果，目的在經由對單一乳牛場泌乳牛群畜舍微氣候之觀測，以瞭解氣候環境之變化對乳牛產乳性狀之影響。俾供改善牛群管理及畜舍環境改良，藉以提升生乳總產量之參考。

簡略詞：THI=溫濕度指數

二、材料與方法

1. 試驗乳牛之飼養管理

利用屏東技術學院畜牧場(東經約120°36'，北緯約22°39'，海拔約80m) 泌乳中之健康荷蘭種(Holstein)乳牛，平均產乳經歷3.3±2產次，供全年監測其產乳量。試驗期間均供應盤固拉乾草(Pangola hay)全日任食。另給予基本精料(約含粗蛋白質17％，總可消化營養分80％)每頭每日5公斤,若牛隻平均每日產乳量（每週計算1次）超過10公斤者，則另增加精料之給予，並依2公斤牛乳對1公斤精料之比例遞增。

牛隻柵飼於含全砂土質運動場之柵欄內，僅精料給飼區部份場地鋪設水泥，其上方以鐵皮敷蓋之(遮陽棚)，棚高4m。

2. 產乳量之測計

每日於清晨4～5時及下午4～5時各將泌乳牛群驅趕入搾乳室搾乳1次全日計2次。採用自動搾乳機,配合自動乳量記錄系統(Milk - meter，NEDAP) 測計個別牛之產乳量。記錄器顯示每日每頭牛之產乳量經讀取後求出該日之平均產乳量(公斤／天，頭)。

3. 生乳組成分含量之測計

依乳業發展協會(DHIA)之乳質檢測方法，每月至少以乳成分測定儀(Milk analyzer，Denmark Milkoscan，104)測計個別牛生乳中之乳脂肪(Milk fat)、乳蛋白質(Milk protein)和乳糖(Lactose)等主要乳組成分各1次，其校正方法如李及陳(1987)所列述。

4. 直腸溫之測量

由預備試驗中測知牛舍內夏季每日之最低氣溫及最高氣溫各約在清晨 4～6 時及下午 2～3 時出現，因此配合於此二時段

測量其直腸溫度(Rectal temperature，RT)，供作確認牛群健康之生理狀況，直腸溫之測量分別於夏季(7～9月)及冬季(12～2月)期間隔週實施，每次連續測量7天。以獸醫用肛溫計測量之，其讀數若有異於牛隻之正常體溫範圍(38.0～39.5℃)(張，1987)，除非經判斷認其非因疾病造成仍可採用，否則連同當日產乳數據一併捨棄。

5. 微氣候環境監測

測定項目及其高度各如下：(1)氣溫及濕度：測定位置於舍棚外50 cm及150 cm高度各1處，於舍棚下50 cm 1處及150 cm 3處，均採用自製之通風式乾濕球熱電偶溫度計，每間隔30分鐘自動測錄1次。(2)風向及風速：測定位置於舍棚外空曠處，採用美國YOUNG公司風向風速計，高度4 m，變化曲線連續記錄。(3)全天日射及地面反射：利用日射計(日本英弘MS-61)兩具，高度2 m，變化曲線連續記錄。(4)畜舍棚頂內面及棚下與運動場地表面溫度:利用輻射溫度計(Thermo-hunter)於每日下午2時測定，每季擇一晴朗日進行逐時測定。

6. 溫濕度指數之計算

舍棚外150cm高度乾濕球溫度，經計算後求得日平均氣溫及濕度依下式(Ingraham et al., 1974)求得溫濕度指數(Temperature-Humidity Index，THI)。

$$THI=db-(0.55-0.55RH)(db-58)$$

式中db為乾球溫度(°F)，RH為相對濕度(%)。

三、結果與討論

1. 畜舍微氣候環境

表1為1992年7月至1995年6月牛舍之微氣候觀測結果，在表中之第三欄為全天日射量，第四欄為棚外150 cm高度乾球溫度，第五欄為50及150 cm高度牛棚內外之氣溫差，最後一欄為牛棚外運動場之地表溫度。從表中可知試驗牧場之氣溫夏季可高至38.8℃，冬季則曾低至8.5℃，年度差達30.3℃，牛棚則可使氣溫平均降低2.4℃(150 cm高度)～2.2℃(50 cm高度)，暴露之牛隻運動場，夏季之晝間地表溫度平均可高至34.6℃，冬季平均仍在29.5℃以上。

從晝間於牛舍進行逐時觀測結果可知，晴朗夏日近中午時分，畜棚棚頂之溫度都在40℃以上，最高47.7℃，而棚下氣溫亦近35℃。

牛隻運動場地面之日射反射率(Albedo)，經長期監測結果，其值介乎於12～18%左右，平均值為14%。

2. 畜舍微氣候環境對乳牛平均隻日產乳量之影響

試驗期間之溫濕度指數(THI)約介於54～86間，夏季(7～9月)較高，整季均在78～86間，冬季(12～2月)較低，約在60～72間。試驗牛隻全年之日平均產乳量約13.8公斤，夏冬季分開時，則為13.2公斤對14.4公斤。

由於高溫多濕環境明顯降低泌乳牛隻之日糧(Ration)攝取量(Mody，1967)，導至血液中與乳組成分有關之營養分減少，而荷蘭種泌乳牛之高THI臨界值為72(Johnson，1985)，據此推測，至少夏季畜舍THI之偏高對牛隻泌乳能力之影響可能持續至次日(24小時後)。比較夏季試驗牛隻日產乳量與當日THI(圖1之A)以及前一日THI(圖1之B)之關係，發現其相關係數(r)分別為-0.18不顯著對-0.26(達1%顯著水準)，顯示高THI對牛隻次日產乳量之影響較當日為甚，亦即其影響具延後效應。依此，本研究中，畜舍環境當日THI與次日乳牛平均每隻每日產乳量之關係，如圖2之A所示，相關係數為-0.33達1%顯著水準，若僅就冬季而言，則示如圖2之B，兩者之相關係數為-0.28，仍達1%顯著水準。可見畜舍溫濕度之變化確為顯著影響乳牛產乳量之環境因素。

Table 1. The microclimatical data of the dairy farm during the period from Jul.1992 to Jun. 1995.

Month	Item	Solar radiation (ly day^{-1})	Air temperature (℃)	Air temperature difference between inside and outside of stock shed (℃) 0.5m height	1.5m height	Ground surface temperature outside of stock shed (℃)
Jul.	Max.	644.3	38.7	6.7	4.2	47.9
	Min.	28.9	23.2	0.2	0.4	26
	Average	392.2	28.3	2.7	2.7	34
Aug.	Max.	650.7	36.7	6.2	4.6	42.3
	Min.	22.7	22.8	0.1	0.2	24.8
	Average	331.2	27.5	2.5	2.2	32.8
Sep.	Max.	523.2	37.4	7.3	5.3	46
	Min.	21.6	22	0.1	0.5	27.2
	Average	314.2	27.2	2.8	2.8	31.7
Oct.	Max.	425.1	34.9	4.5	4.3	43
	Min.	110.3	17.4	0.3	0.7	24.1
	Average	271.8	25.3	2.2	2.5	31.7
Nov.	Max.	396.9	34.3	5.4	6.5	48.7
	Min.	62.6	14.6	0.4	0.8	24.6
	Average	267.9	23.4	2.6	2.6	32.9
Dec.	Max.	352.8	33.7	5.2	4.4	48.3
	Min.	54	14.8	0.5	0.6	20.1
	Average	233.4	22.5	2.3	2.2	30.1
Jan.	Max.	416	32.9	5.9	5.5	50.4
	Min.	64	8.5	0.3	0.4	13
	Average	261.1	19.1	2.8	1.9	29.5
Feb.	Max.	448.5	32.5	6.5	4.6	44.8
	Min.	23.9	9.3	0.2	0.5	18.4
	Average	269.9	20.3	2.7	2.4	29
Mar.	Max.	462.8	35.3	4.1	4.3	50.9
	Min.	44.7	12.4	0.5	0.3	15.9
	Average	280.9	22.3	1.2	1.5	31.6
Apr.	Max.	619.6	37	6.3	4.1	55.1
	Min.	63.9	16.8	0.3	0.8	18.5
	Average	382.9	26	3.1	2.5	38.8
May	Max.	617.1	36.7	6.9	4.9	51.1
	Min.	45.3	20.5	0	0	22.8
	Average	365.8	27.3	2.5	2.4	35.2
Jun.	Max.	646.9	38.8	6.5	5	58.4
	Min.	35.8	22	0.1	0.3	24.7
	Average	397.8	28.5	3	2.6	36.9
Full period	Max.	650.7	38.8	7.3	6.5	58.4
	Min.	21.6	8.5	0	0	13
	Average	305	25.4	2.2	2.4	33.5

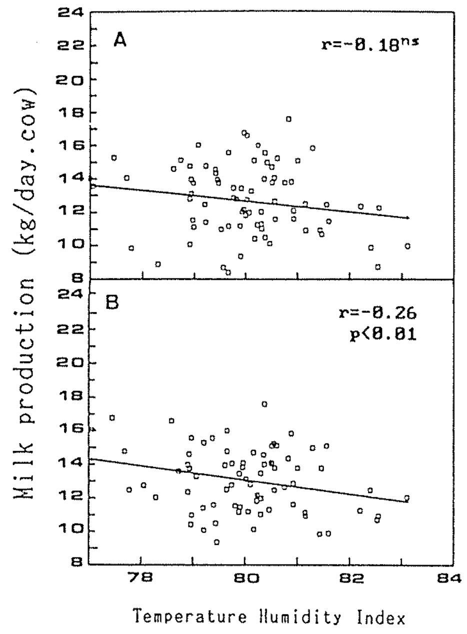


Fig 1. The relationship between dairy average of milk production and temperature- humidity index of the same day (A) and 24-hour ahead (B) during the period of Jul.～Sep.1992.

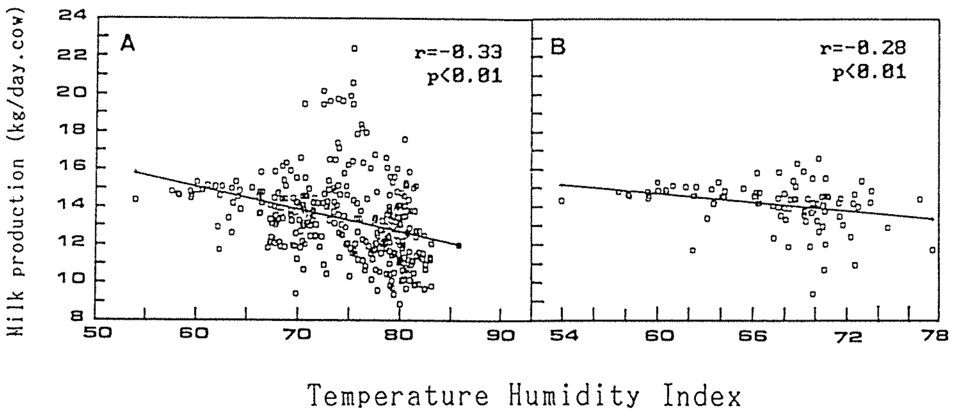


Fig. 2 The relationship between daily average of milk production and temperature- humidity index 24-hour ahead during the period of Jul.1992～Jun.1993 (A) and Dec. 1992～Feb. 1993 (B).

Ingraham et al.(1974)曾研究THI 與乳牛受胎率(Conception rate) 之關係，發現THI高於70時將不利於乳牛之受胎，氏等亦指出此種不利之環境因素對乳牛受胎率之不利影響有明顯之延後效應，顯示畜舍環境中，高THI 對乳牛經濟性狀(生殖與泌乳能力)之影響，確實不止於降低其日糧攝取量之營養因素，以至減少次日之產乳量，究其原因，應係由於不利之環境因子導至牛隻包括生殖和泌乳等有關之內分泌狀況改變，影響其各種相關之生理功能，而有全面降低經濟性狀之表現。Rober et al. (1980) 和 Mahammed and Johnson (1985) 等作者研究甲狀腺素(Thyroxin)和生長素(Growth hormone)等產熱性內泌Thermogenic hormones)與乳牛產乳量之關係時，亦有類似之推論。

本研究之測計所得，自1993年5月至1994年4月之平均THI 亦為75。因此，就本省之荷蘭種乳牛而言，其微氣候環境僅有熱季(5月～10月)和涼季(11月～4 月)可言，(THI 平均為78.6對72.4，n=78對112， p<0.001)，此結果與馮和謝(1981)及農林廳(1988) 之報告不謀而合。本試驗所採用之搾乳前24小時之THI(徐和劉,1994)與氣溫之變化呈極顯著之相關(r=0.953,p<0.01)。熱緊迫氣候環境下之泌乳牛群，其產乳量與THI呈極顯著之負相關(r=-0.4698，p<0.01) (見圖3)乃可理解，而兩季之月平均產乳量(17.3 kg對15.4kg ,p<0.001) 固仍呈極顯著之差異，唯情況則略有不同，涼季中，月平均產乳量與THI 之極顯著負相關現象仍存在，然熱季之月平均產乳量與當月之平均THI 則不具顯著之相關(r=-0.1265，p>0.05)。究其原因，本試驗牛群中，在第二年度計有42％(11／26) 泌乳期開始於熱季中或熱季開始前8 週內。乳牛於分娩後之泌乳期期間，其產乳

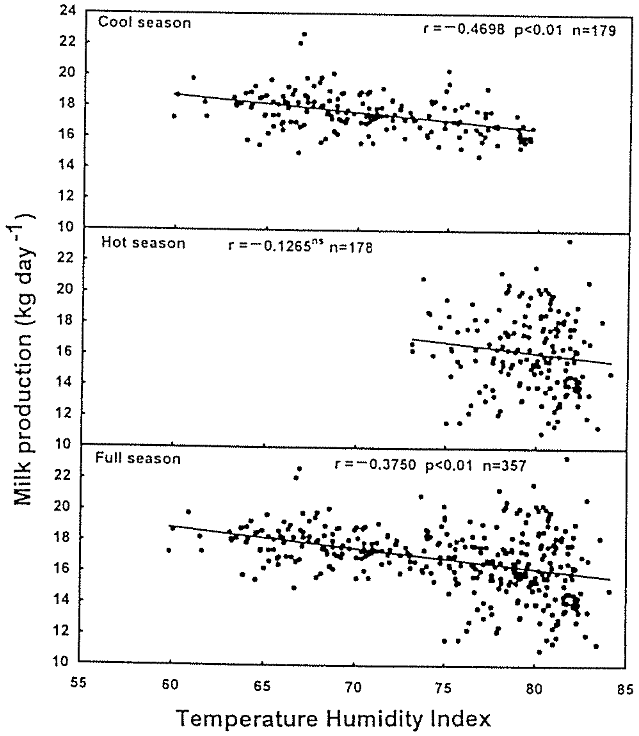


Fig. 3 The relationship between daily average milk production and previous 24-hour ahead temperature-humidity index during the period of Nov. 1993～ Apr. 1994 (Cool season) May. 1993～Oct. 1993 (Hot season) and May 1993～Apr. 1994 (Full season).

能力將於 5～10 週內達高峰，並維持一段期間(Foley et al., 1972)，此期間乳牛體內與泌乳有關之內泌素及其營養分之被利用於泌乳亦將達最佳狀態 (Larson, 1985)。據以推測，本試驗中乳牛於熱季之平均產乳量與THI之關係，乃同時受到泌乳高峰期泌乳能力之發揮（產乳量上升），及顯著偏高THI對泌乳能力抑制因素之影響，而涼季之平均THI雖接近乳牛之高THI臨界值，然顯著低於熱季者，其攝食慾，內分泌狀況及泌乳能力較能發揮，因此熱季產乳量與THI之負相關之關係反而不如涼季者顯著。上述現象同時顯示，除設法降低畜舍環境之熱緊迫之不利影響外，藉乳牛群之配種管理計畫，促使臨近熱季時有較多之乳牛分娩並展開其泌乳期，將可以達到提升熱季生乳總產量之效果。

3.畜舍溫濕度指數等級與產乳量之關係

依作業或運送禽畜時之參考值安全天氣指數（Livestock weather safety index)，將THI區分為小於70之正常級，介於71～78之警戒級，及大於79之危險和危急級(Hahn, 1975)時發現本試驗中之THI等級(<=70，71～78及>=79三級)與乳牛平均每隻每日產乳量間之相關係數分別為-0.27,-0.20及-0.22，均達5％之顯著水準)，示如圖4。當THI>=79時，試驗牛隻之平均隻日產乳量約12公斤，而THI<=70時，隻日產乳量平均大於14公斤，可見畜舍微氣候環境對乳牛泌乳能力之影響。而夏季之THI均接近或大於79，即在危險和危急等級。顯然成為本省夏季生乳總產量低下之重要環境因素。

上述三個THI等級對試驗牛隻平均隻日產乳量分佈之影響，其回歸分析上牛乳產量估計值之標準機差依次為1.76，2.40及1.12，由此可知當處於70<THI<79之熱緊迫(Heat stress)環境中時，牛隻個體別之隻日產乳量將因個體別對熱緊迫環境之適應或忍受能力有別，而導致產乳量之差異較大。當THI <=70或>=79時，其泌乳能力之所以較接近，可能由於乳牛在正常級之THI (<= 70) 環境中，其生理功能，營養分之攝取及泌乳能力均較穩定；又一旦THI升高至危險和危急狀況下(>=79)時，因牛隻均已處於嚴重熱緊迫之生理狀況，個體別之產乳狀況或產乳性狀(隻日產乳量)已無甚差異。三個THI等級中之平均隻日產乳量變異值以>79者最小，蓋泌乳牛經3天之熱緊迫後，至少需要7～18天之適溫環境始可恢復原有之生理狀況或產乳量(Christison and Johnson，1972；Johnson，1985)，而熱緊迫環境對高產乳牛泌乳能力之不良影響，又甚於低產乳牛之故(Vanjonack and Johnson，1975)。

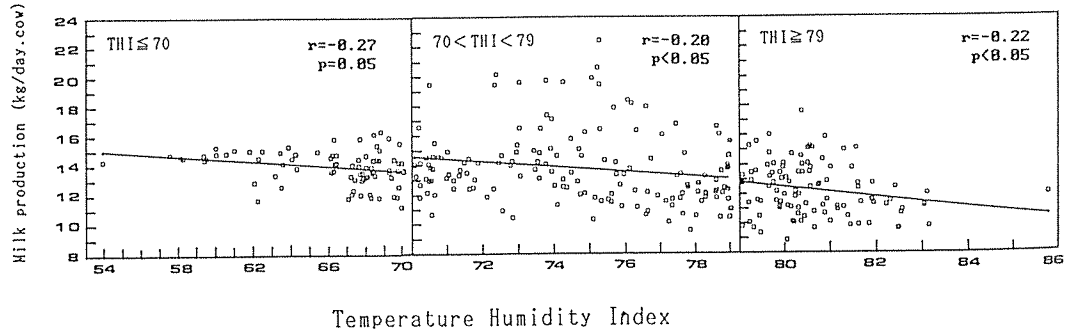


Fig. 4 The relationship between daily average of milk production and temperature-humidity index 24-hour ahead in different classes.

4.產乳開始日期之季節對產乳能力之影響

依乳牛個別產乳期次之實際開始生產常乳(Normal milk)之日期(約於分娩後之第5～7日起)，區分為自涼季(11～4月)開始產乳，與自熱季(5～10月)開始產乳者二類，試驗全期計49頭－產乳期，區分方法之依據如徐與劉(1995a)報告所述。

再比較分別於涼、熱兩季開始產乳之乳牛頭數，產乳期之平均產乳日數，次之平均總產乳量，週平均之每日產乳量(Average milk yield, Kg)等。結果顯示研究分析之三年期間，於涼、熱兩季內開始產乳之乳牛頭數分別為26 vs 23頭，二者間之差異並不顯著 (p> 0.05)，於各次產乳期期間，產乳日數平均為278日，開始產乳之季節(涼 vs 熱季)並不顯著影響其產乳日數（258±74 vs 301±103日，P> 0.05）(表2)，對各產乳期之平均總產乳量之影響亦不具顯著效應(4091± 1252 vs 4227±1851Kg，P> 0.05)，而週平均之每日產乳量則分別為涼季（11～4月）開始者之16±3.7Kg及熱季（5～10月）開始者之14±3 Kg，二者間具顯著之差異性（P< 0.05），以上數據顯示，自涼季開始產乳之牛隻，具有在較短之產乳日數內達某一目標之累計產乳量之能力，而自熱季開始產乳之牛隻，雖具稍多之全產乳期總產乳量，唯其總平均之產乳日數亦較長，而全產乳期之週平均之每日產乳量則顯著較少，亦即其產乳能力之持續性雖較久，然而欲求其於某一期間內達到較集中之累計產乳量之能力則遜於涼季開始產乳之牛隻。考其原因；由於涼、熱兩季之平均THI值具顯著之差異性(徐與劉，1995a)，熱季開始產乳之牛隻，於臨近產乳開始，至產乳量達高峰期止之期間內(約5～6週；劉等，1994)，均處於顯著高THI之環境下，其日糧營養分之攝取，與涉及乳腺增生發育之內泌素因子均在較不利於表現產乳能力之狀況(Mody et al., 1967；Mohammed and Johnson，1985)因此其單位時間(週)之每日平均產乳量遠低於涼季開始產乳之牛隻(徐與劉，1995b) (16.4 vs 18.9Kg) (圖5)，待其產乳之歷程進入涼季時，雖然日糧營養分之攝取能力較可提昇，唯泌乳能力則已近後段，乳腺細胞對營養分之利用，以進行乳汁合成，並用於產乳之能力已然下降，單位時間(週)之每日平均產乳量僅稍多於產乳期開始於涼季者(13.2 vs 12.8 Kg) (圖5)。因此，產乳期開始於熱季之牛隻，其全產乳期之週平均之每日產乳量顯著不如開始於涼季者之現象，理應肇因於妊娠期期

Table 2. Milking characteristics of dairy cattle during experiment period.

Item	Hot season			Cool season			t value	$P_{0.05}$
	n	Mean	S.E	n	Mean	S.E		
Milking days (day cow^{-1})	23	300.9	102.5	26	258.1	74.4	1.6523	2.042
Total milk production (kg cow^{-1})	23	4227.4	1851.3	26	4090.7	1252.6	0.2986	2.008
Daily milk production (kg cow^{-1},weekly)	65	13.9	3.0	64	16.1	3.7	2.2709	1.96
THI		73.9	2.0		74.4	1.1	1.0279	1.96

a:lactation beginning in May ～ October.
b:lactation beginning in November～ April.

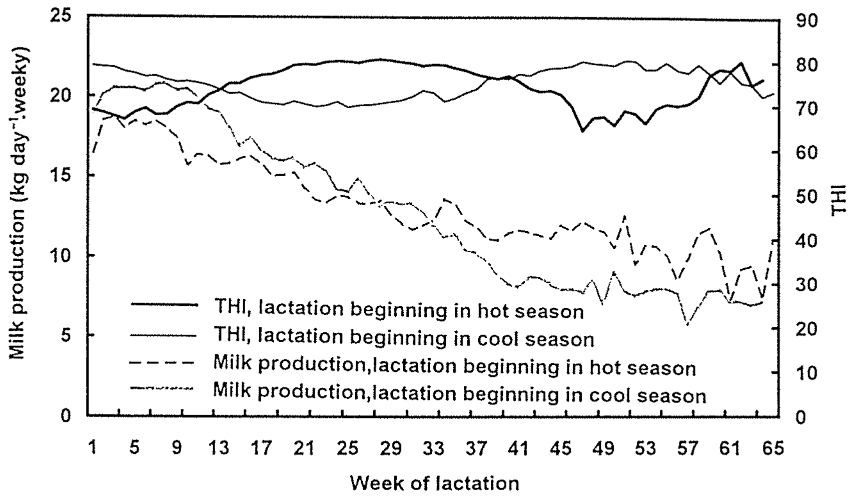


Fig. 5 The variance of milk production and THI in lactation period.

間，乳腺之增生發育，以及產乳期開始，迄產乳能力得以發揮之適當期間內，均受環境溫度之不利影響所致。

5. 畜舍季節性溫濕度指數對乳牛產乳能力之影響

不論產乳期開始於涼季或熱季，試驗牛隻於全產乳期之期間內，平均之THI 值並未具顯著差異性 (74.4 vs 73.9 P> 0.05)，然而，於期產乳期之前32 週階段，週平均之每日產乳量則均極顯著受到THI 之不利影響(r＝0.9501和0.7894，P< 0.01) (徐與劉，1995b) (圖5)此結果與徐與劉 (1994，1995a) 之報告相同，理因乳牛產乳之高臨界THI 值爲 72（Johnson，1985），而試驗乳牛舍於涼熱兩季之平均THI直分別爲72.4及78.6(徐與劉，1995a)，均高於其高臨界值所致。高環境THI值對乳牛泌乳能力之影響已被報導(Chritison and Johnson，1972；Mohammed and Johnson，1985)，其對本省北部和南部地區泌乳牛產乳能力之影響性均已實地量測(池，1977；徐與劉，1994、1995a)。本研究中，試驗牛隻於熱季開始產乳者，其達產乳量高峰之週次約爲產乳期之第2～3週，明顯早於荷蘭牛之平均値（5～6週；劉等，1994)，且隨即下降，而涼季開始產乳者則待第 7～9週始達產乳高峰(圖 5)。另據丁(1990)之統計資料顯示，本省荷蘭種乳牛於熱季 (5 ～10月)分娩者，其產乳量自產乳期開始即迅速下降，甚至未曾呈現產乳高峰之現象。至於試驗牛之產乳期期間之第33～64週之產乳量，則僅產乳期間開始於涼季者顯著受到 THI 之不利影響（r=0.4265, P< 0.05) (圖 5)，可能主要乃因其當時正處於熱季，及均已達產乳期之後段，泌乳能力自然明顯下降之雙重誘因所致。而熱季開始產乳之牛隻，此階段之產乳量與THI 之相關雖未具顯著性（r=0.3566 p<0.05)，唯週平均之每日產乳量亦不穩定，推測可能因產乳期之後期，乳牛間產乳能力及因產乳能力之差異而對THI 影響之反應程度具較大之變異性所致（Johnson and Vanjonack，1976)。

6.畜舍溫濕度指數對生乳組成分含量之影響

(1). 對乳脂肪含量之影響

THI 與乳脂率之關係，於全年、涼季或熱季均呈顯著至極顯著之負相關

(r=-0.2498,-0.3409,-0.2644, p<0.02,0.01, 0.01) (徐與劉， 1995a)。乳脂率與乳量間之關係於試驗之全期間雖未呈顯著之相關 (p>0.05)，然於涼熱兩季間則呈極顯著之差異（3.6對3.3％，P<0.001）。乳牛於熱緊迫環境中，將顯著降低精料及粗料之攝取量, 增加飲水量，導致產乳量及乳脂量低下(Mody,1967)。此乃因其體內產熱性及與乳汁生成和乳脂合成相關內泌素如：生長素（Growth hormone），甲狀腺素（Thyroxin）和腎糖皮素(Glucocorticoids)等之低下所致(Rober et a l., 1980; Tucker，1985；ahammed & Johnson，1985)。本試驗中泌乳牛之精料供給維持一定之標準，而粗料(盤固拉乾草)則給予任食(徐和劉, 1994)，結果顯示其乳脂率(平均3.5％)與Sharma et al., (1988) 之報告相近，屬正常範圍內 (Foley et al., 1972)，因此推測其熱季之乳脂含量受THI 不利影響之原因，除對粗料之攝食量低下,致未能供應足夠之脂肪酸以供泌乳所需外,尙可能涉及體內與乳脂合成有關酵素量及其活性之低下(Collier，1985)。

(2). 對乳蛋白質含量之影響

試驗牛隻生乳中之蛋白質含量平均爲3.1％，在正常範圍內，牛乳中之蛋白質含量除於泌乳高峰期較低外，餘均相當穩定 (Rook and campling,1965; Foley et al., 1980)。本試驗中，涼熱兩季之乳蛋白質含量(2.9 vs 3.4%)雖在正常之範圍內，唯具極顯著之差異性(p<0.001)，且均與產乳量呈極顯著之負相關(r＝-0.6816 vs -0.4052，p<0.01) (徐與劉，1995a) (圖6)，而涼季乳中蛋白質含量之明顯偏低，顯示在本省南部

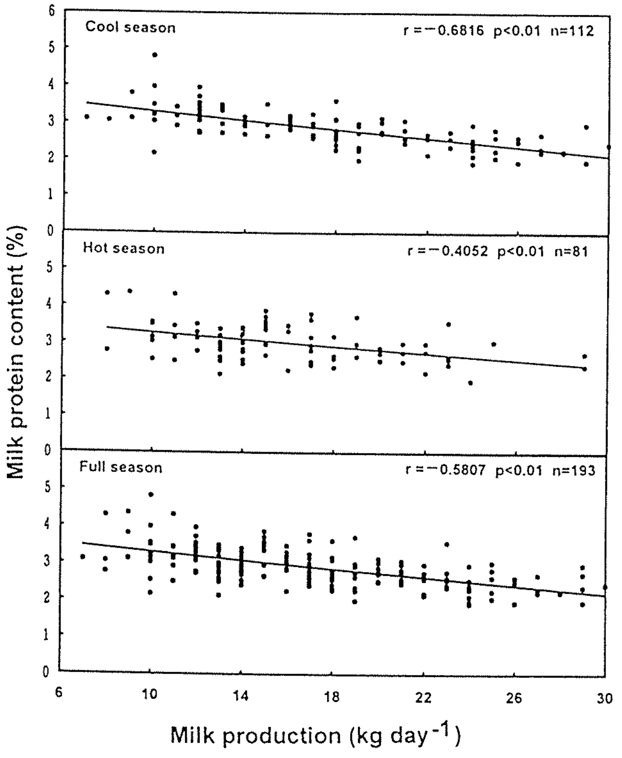


Fig. 6 The relaationship between milk protein content and daily average of milk production during the period of Nov. 1993 ～ Apr. 1994(Cool season), May 1993 ～ Oct.1993(Hot season) and May 1993～Apr.1994 (Full season).

全年高THI之環境下，(年平均THI 爲72.2)，乳牛仍有較佳泌乳能力(產乳量)時，欲改善乳蛋白質含量,需增加其日糧中之蛋白質(精料)供給量。

(3). 對乳糖含量之影響

試驗牛隻生乳中乳糖含量全年之平均爲4.1％，仍在正常範圍內，THI 對乳糖含量之影響不顯著 (r＝0.1676，p>0.05) (徐與劉,1995a)，乳糖具維持乳腺泡滲透壓之功能，乳腺泡中之乳糖含量高時，水分進入乳腺泡之量亦增加,因此其於生乳中之含量與泌乳能力(產乳量)呈正比關係(Jenness，1985，Foley et al., 1972）。本試驗中，涼熱兩季生乳中之乳糖含量分別爲4.3和3.9％，差異極顯著(p<0.001)，且仍與牛隻之產乳量呈正比關係，唯僅熱季中之乳糖含量與牛隻之產乳量呈顯著之正相關 (r=0.2156，p<0.05)，顯示泌乳牛在熱緊迫環境下，其乳腺合成乳組成分之能力(乳糖) 確實將受到不利之影響,因此導至產乳性狀之低下。

結　　論

綜合本研究之結果顯示；高環境THI 值對乳牛產乳能力之不利影響，並不因爲乳牛產乳期開始之季節爲涼季或熱季而異，牛隻個體別之泌乳能力及其處在高 THI條件下之適應或忍受能力，是否爲影響熱帶一亞熱帶地區乳牛產乳性狀之最主要因素，尙有待更進一步之探討。然就本試驗之各項數據顯示，欲提昇本省乳牛之產乳性狀，增加夏季生乳總產量，宜針對高溫高濕之畜舍環境加以改善，設法降低牛棚屋頂溫度，並加强牛棚內之通風以降低氣溫，甚至改善牛群管理方式。使泌乳牛得以在舒適環境中充分發揮其泌乳能力，而在本省南部地區，降低乳牛舍THI之努力應有全年性之需要。

引用文獻

台灣省政府 1985～1988 全省乳牛飼養情形統計資料。農林廳。

李素珍、陳茂墻 1987 臺灣乳牛生乳品質調查。畜產研究 20(2)：123-128。

池雙龍 1977 本省北部乳牛泌乳曲線之研究。中國畜牧學會會誌6 (3- 4)： 33-52。

吳兩新 1989 年齡，營養與環境溫度荷蘭乳牛腎上皮質功能之影響。國立臺灣大學博士論文，臺北。

徐森雄、劉炳燦 1994 畜舍微氣候對乳牛產乳性狀影響之研究。中華農業氣象 1 (1)：11-18。

徐森雄、劉炳燦 1995a 畜舍微氣候對乳牛產乳性狀影響之研究(2)，中華農業氣象 2(2)：69-74。

徐森雄、劉炳燦 1995b 畜舍微氣候對乳牛產乳性狀影響之研究(3)，行政院農業委員會84科技-2.14-企-03(3)計畫報告，40pp.

張鼎芬 1987 體溫調節。家畜生理學，第七版。國立臺灣大學農學院。 pp.347-363。

劉炳燦、鄭三寶、楊忠亮、朱志成 1994 誘發不孕乳牛泌乳之硏究I.性脈奈劑量與分娩經驗對誘發泌乳牛隻泌乳性狀和生理反應之影響。屏東技術學院學報。3：219-234。

Christison, G. I. and H. D. Johnson. 1972. Cortisol turnover in heat-stressed cows. J. Anim. Sci. 35:1005-1010.

Collier, R. J. 1985. Nutritional, metabolic, and evironmental aspects of lactation. In：Lactation. B. L. Larson (eds.). pp.80-128. lowa State University Press, USA.

Foley, R. C., D. C. Bath, F. N. Dickinson and H. A. Tucker. 1972. Dairy cattle：principles, practices, problems, profits. Lea and Feviger Philadelphia, USA.

Haha, G. L. 1985. Management and housing of farm animals in hot nvironments. In : Stress physiology in livestock. Vol. II. (ed.)Yousef, M. K. pp. 151-174. CRC Press, USA.

Ingraham, R. H., D. D. Gillette, and W. D. Wagner. 1974. Relationship of temperature and humidity to conception rate of Holstein cows in subrtopical climate. J. Dairy Sci. 57：476-481.

Jenness, R. 1985. Biochemical and Nutritional aspects of milk and colostrum. In：Lactation. B. L. Larson (eds.). pp.164-19. lowa State University Press, USA.

Johnson, H. D. 1985. Physiological responses and productivity of cattle. In：Stress physiolgy in livestock Vol. II. (eds.) Yousef, M. K. pp. 3-23. CRC Press, USA.

Johnson, H. D. and W. J. Vanfonack. 1976. Effects of environmental and other stressor on blood patterns in lactating animals. J. Dairy Sci. 59：1603- 1617.

Larson, B. L. 1985. Biosynthesis and cellular secretion of milk. In：Lactation. B. L. Larson (ed.).pp.129-163. Iowa State University Press, USA. Mody, E. G. 1967. Effect of high temperature and dietary fat on performance of lactation cows. J. Dairy Sci. 50：1909-1916.

Mohammed, M. E. and H. D. Johnson. 1985. Effect of growth hormone on milk yields and related physiological functions of Holstein cows exposed to heat stress. J. Dairy Sci. 68：1123-1133.

Rober, M. A., B. A. Becker, S. E. Valtorta, P. Katti, H. Mertsching, H. D.Johnson, and M. D. Shanklin. 1980. The Relationship of growth hormone and thyroxine to milk production under heat in Holstein cows. J. Anim. Sci. 36 : 261. (ABSTR). No.379.

Rober, M. A., B. A. Becker, S. E. Valtorta, P. Katti, H. Mertsching, H. D. Johnson and M. D. shanklin. 1980. The Relationship of growth hormone and thyroxine to milk production under heat in Holstein cows. J. Anim. Sci. 36：1379-1385.

Rook, J. A. and R. C. Campling. 1965. Effect of stage and number of lactation on the yield and composition of cow's milk. J. Dairy Res. 32：45-51.

Sharma, A. K., L. A. Rodriguea. C. J. wilcox, r. J. collier , K. C. Bachman, and F. G. Martin. 1988. Interactions of climate factors affecting milk yield and composition. J. Dairy Sci. 71：819-825.

Tucker, H. A. 1985. Endocrine and neural control o the mammary gland. In：Lactation. B. L. Larson (ed.). pp.39- 74. Iowa State University Press, USA.

Vanjonack, W. J. and H. D. Johnson. 1975. Effects of moder- ate heat on milk yield on plasma thyroxine in cattle. J. Dairy Sci. 58：507-511.

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 345-355, 1996

氣象條件對龍眼流蜜及蜜蜂採蜜之影響

章 加 寶
臺灣省蠶蜂業改良場

內 容

摘要……346
英文摘要……346
前言……347
材料與方法……347
結果與討論……347
誌謝……355
引用文獻……355

氣象條件對龍眼流蜜及蜜蜂採蜜之影響

章 加 寶

臺灣省蠶蜂業改良場

摘 要

龍眼爲台灣最重要之蜜源植物，爲探討氣象因子對龍眼流蜜及蜜蜂採蜜量之影響，於1992～1994三年間，分別在南投縣中寮鄉及名間鄉6～7年生之龍眼園進行。結果顯示採蜜量以盛花期最多，龍眼流蜜日週高峰在10～14時；置於龍眼主要產區之中寮蜂群，其採蜜量較置於非龍眼產區之名間爲高，在該二地區強勢蜂群採蜜量均較弱勢者爲高。氣象因子中，降雨量對龍眼流蜜及蜜蜂採蜜量之影響最大，1994年之降雨量較低，其年度之採蜜量均較多；在同一年度之中則發現雨天及雨後二天其蜜量均少。此外，4月爲龍眼之流蜜期，但此時氣溫及濕度對龍眼流蜜無顯著的影響。

關鍵詞：氣象條件，龍眼，流蜜，蜜蜂，採蜜。

Effect of Meteorological Factor to Nectar Flow and Honey of on Longan (*Euphoria longana* Lam.)

Chia-Pao Chang (Taiwan Apicultral and Sericultural Experiment Station, Miaoli, Taiwan, ROC)

ABSTRACT：The longan (*Euphoria longana* Lam.) is the most important honey plant in Taiwan. In order to understand the meteorological factor affecting the nectar flow of longan, the nectar flow of longan has been investigated for three years since 1992 at Chung-Liao and Min-Chen of Nantou county, and six to seven years old of longan trees was used in this experiment. Through analyzing meterological data collected in a longan yard, it was confirmed that rainfall should be responsible for injury to the yield and quality of honey. The peak of honey extraction was at middle blooming stage and the peak of nectar flow was between Am 10: 00-Pm 2: 00 during daytime. The honey yield of longan area was higher than that of non-longan area, and the honey extraction of strong colony is higher than that of weak colony at these two areas.

Key words：Meteorological factor, Nectar flow, Longan, Honeybee, Honey extraction.

前 言

蜜源植物之流蜜受到植物體遺傳性、生長勢及營養狀況等內在因素之影響外，也受土壤及氣象等外在條件之影響，其中以氣象因子之影響最爲重要(張, 1985)。龍眼(*Euphoria longana* Lam.)亦稱桂圓，屬無患子科(Sapindaceae)多年生常綠果樹，原產我國南方(徐, 1990)，係台灣最重要的蜜源植物，全省栽植面積12,372公頃，產量111,518公噸，主要分布於台中、彰化、南投、嘉義、台南、高雄等縣，其中以台南縣爲最多達3,837公頃，而台中、南投、高雄等縣均約2,000公頃(臺灣省政府農林廳, 1990)。由於龍眼泌蜜量大(連, 1990)，然花期短，要獲高產，必須有適當氣象條件之配合。由於台灣尙缺氣象條件對龍眼流蜜之資料，針對此點本研究乃測定龍眼不同花期之氣象條件、流蜜量及蜜蜂對其採蜜情形，以期能瞭解氣象條件對龍眼流蜜及蜜蜂採蜜之影響，作爲蜂農採蜜及提供流蜜預測之參考。

材料與方法

(1)蜂場管理

本試驗所用之蜂箱可容10片巢脾之單箱，每群均有一隻產卵正常之蜂王，並置有隔王板(queen excluder)。在巢脾上放置一塑膠製飼糖盤，供飼糖水，黃昏時注入糖水比例1比1之糖水於飼糖盤。然糖水比率視當時粉蜜源情況作適度調整；另取用天然花粉與糖、蜜、酵母粉、大豆粉等作適量混合配製花粉餅。此外，爲避免群勢強弱不均，適時調整巢脾，促使群勢相近。

(2)試驗田管理

試驗期間爲1992～1994年之4～5月間，即龍眼開花期。選定南投縣龍眼主要產地之中寮鄉及名間鄉蠶蜂業改良場蜜蜂繁殖場爲試驗區，調查期間除在龍眼樹上不噴灑農藥外，果園管理與農事操作均照例行方法進行。

(3)不同花期蜜蜂日間採蜜量之變動

於龍眼開花率爲30％、60％及90％，即分別爲始花期、盛花期及末花期時，將强勢蜂群排放於田間，從6時至18時每隔2小時各稱整個蜂箱一次，將後一次稱重減去前一次稱重，可得一天進蜜量之變化，如此連續調查三天。此外，每隔3～5天搖蜜一次，以促進工蜂積極採蜜。

(4)不同花期強勢及弱勢蜂群日間採蜜量之變動

分別在龍眼之始花期、盛花期、及末花期，將强勢(8片巢片)及弱勢(6片巢片)蜂群置於田間，比較其進蜜量之差異，進蜜量之測定同(3)項。

(5)不同花期強勢及弱勢蜂群採蜜量

分別在始花期、盛花期及末花期搖蜜，比較不同花期之强、弱勢蜜蜂群勢採蜜量。

(6)氣象因子調查

調查流蜜期間每天溫度、濕度及雨量等變化，分析其與流蜜量關係。

結果與討論

1.蜜蜂在不同花期採蜜量之日週變動

在始花期、盛花期及末花期之三個花期，蜜蜂的日週採蜜量如圖1所示，在中寮地區，1992年之始花期、盛花期及末花期之進蜜量均以12時爲最多；每群之進蜜量分別爲1.55公斤、0.80公斤及0.50公斤。1993年始花期及末花期亦以12時進蜜量最多，各爲1.13公斤及0.75公斤，但盛花期則以14時進蜜量最多(0.45公斤)；1994年除末花期在12時進蜜量最高，達0.4公斤外，始花期及盛花期以14時最高，每群各達1.05公斤及0.43公斤。比較三年間，不同花期一日之進蜜量，在三個開花期中，一日採蜜高峰皆在12時及14時，而每次進蜜量大都在1公斤左右。而進蜜量較多之時段，則爲10～14時之間。

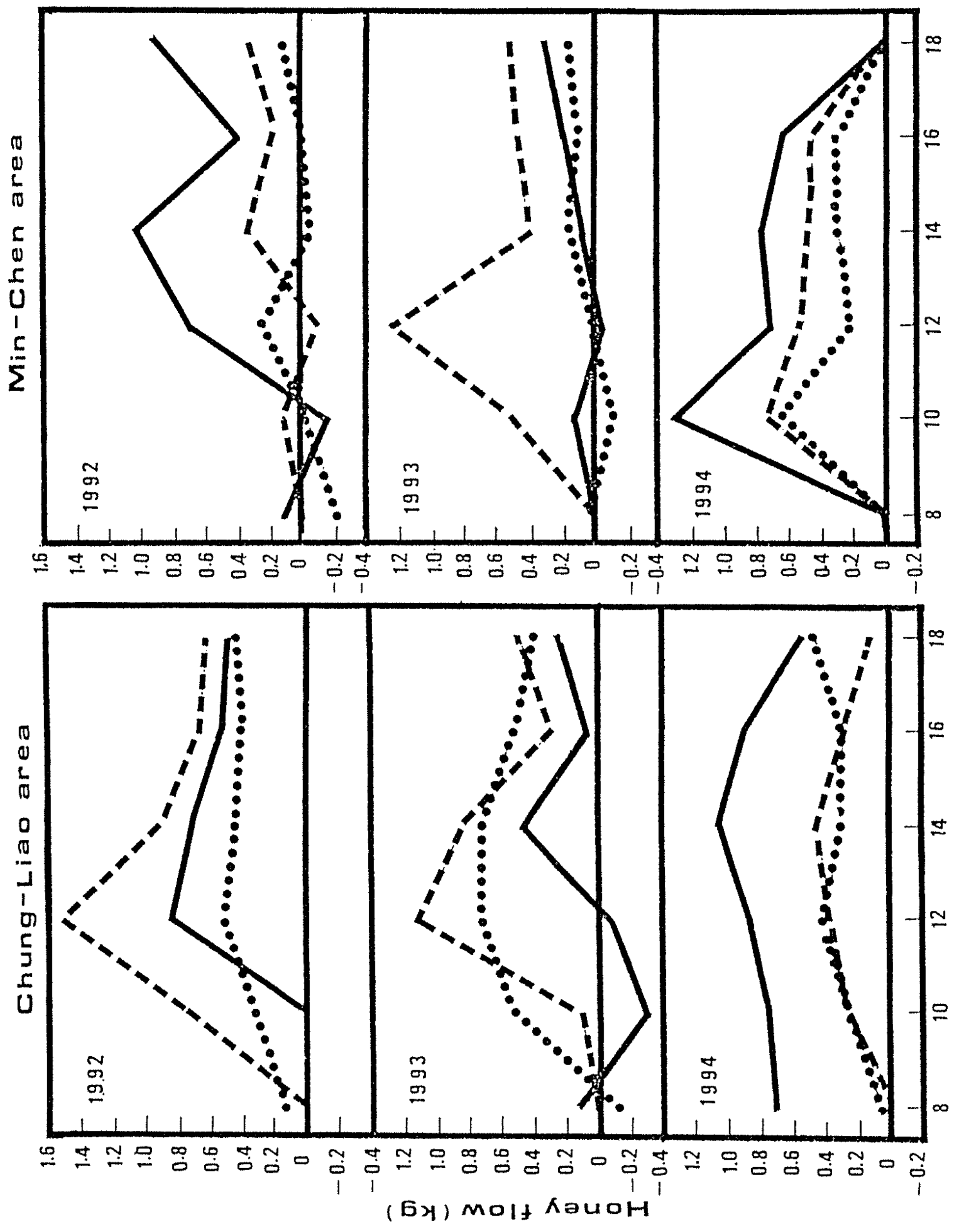


Fig. 1. Fluctuation of nectar flow of longan during daytime. ---, — and ...: Early, middle and end blooming stage, respectively.

在名間地區，1992年始花期及盛花期之進蜜高峰均爲14時。每群之進蜜量分別爲1.03公斤及0.35公斤，末花期爲12時，進蜜量爲0.23公斤；1993年之進蜜高峰，始花期爲12時之1.25公斤，盛花期及末花期爲18時，進蜜量各爲0.35公斤及0.18公斤；1994年各花期的流蜜高峰均爲10時，分別爲0.75公斤、1.33公斤及0.65公斤。和中寮地區比較，名間地區之進蜜日週性較無規律，此應與蜜源植物之集中度有關，但由以上資料顯示龍眼流蜜日週高峰在10～14時。據金等(1989)，田菁之泌蜜高峰爲10～16時，在盛花期日平均採蜜量分別爲始花期及末花期之8倍及2倍。又據黎(1990)之報告，柿樹之泌蜜高峰爲9～12時，可知植物不同，泌蜜時間略有差異，唯主要泌蜜時間多在中午前後。

2. 強勢及弱勢蜂群在不同花期之採蜜量日週性

始花期、盛花期及末花期之進蜜量日週性如圖2所示。在中寮地區，強、弱蜂群之採蜜高峰1992年爲12時，1993年及1994年在14時，其中以强群之進蜜量較多。在名間地區，供試蜂群之進蜜量較無規律，在1992年，進蜜高峰在14時，1993年在18時，1994年則在10時，顯然不論强、弱勢蜂群，在不同花期之採蜜日週高峰大致在10～14時之間。據金等(1989)，10片巢脾之强勢蜂群對田菁之採蜜量比7片巢脾之弱勢蜂群高出50%，即强勢蜂群之採蜜量顯較弱群高。本試驗亦有相似結果。

3. 不同花期強勢及弱勢蜂群採蜜量

以採蜜方法測定在始花期、盛花期及末花期時採蜜量，其結果如表1。在三個花期，無論中寮及名間，强群之採蜜量均較弱群爲高。三年之中，以1994年最高，尤其在盛花期中寮地區强群有11.15公斤之記錄。至於不同年度採蜜量則以1994年最高，1992年最低，造成此項差異之原因，可能和氣象因子有關，梁(1986)指出花期陰雨，分泌花蜜被雨水沖刷且蜜蜂無法採蜜。而陳(1991)則指出，龍眼開花適溫在25℃以下，相對濕度在85％時泌蜜最多。圖3顯示1992～1994三年間龍眼開花期間之降雨量。1992～1994年，4月份之降雨天數爲16、7及2天，發現降雨日數較少之年關，蜜蜂之採蜜量有較高之趨勢。此外，溫度及濕度方面(圖4、5)，流蜜期溫度，1992年介於16～24℃間，1993年介於13～26℃間，1994年介於19～27℃間；而濕度則分別介於60～85％，63～83％，70～80％之間。由以上結果可推測，1994年之高泌蜜量應該係由於濕度夠，溫度適合，降雨量少所致。本試驗結果亦顯示置於龍眼主要產區之中寮蜂群，其採蜜量較置於非龍眼產區之名間爲高，在該二地區强勢蜂群採蜜量均較弱勢者爲高。

4. 開花與蜜蜂採蜜之觀察

1992年4月7日始花期在向陽坡觀察將開放之龍眼花蕾，發現雄性花及雌性花開放天數分別爲1天及2～3天。徐(1992)曾指出，中國大陸南方之龍眼在一個流泌期開三次花，第一批爲雄花3～7天然後轉開雌花3～8天，最後再開雄花10多天；第二批爲雄花開14～16天，轉開雌花4～8天，最後雄花7～8天；第三批爲雌花開3～8天，雄花16～20天即結束。由此可知，臺灣中部地區龍眼花壽命與中國大陸略有不同，可能係因龍眼品種、地區不同而異，有待進一步研究。

由觀察得知，龍眼花朵初開時呈綠白色，無蜜或少蜜，第二天泌蜜增多，第三天減少，花趨凋謝。觀察日間蜜蜂出勤採集活動可知，蜂群在早上6時以前很少出勤，可能與此時之溫度偏低、露水較多，花蜜濃度低，不適蜜蜂採集有關。8時以後蜜蜂出勤數逐漸增多，10時始攜粉進巢，直到傍晚，採集結束。

龍眼在開花泌蜜期蜂群進蜜量與天氣變化和龍眼所處的花期均有一定關係，上述報告中，在正常天氣情況下，蜂群進蜜

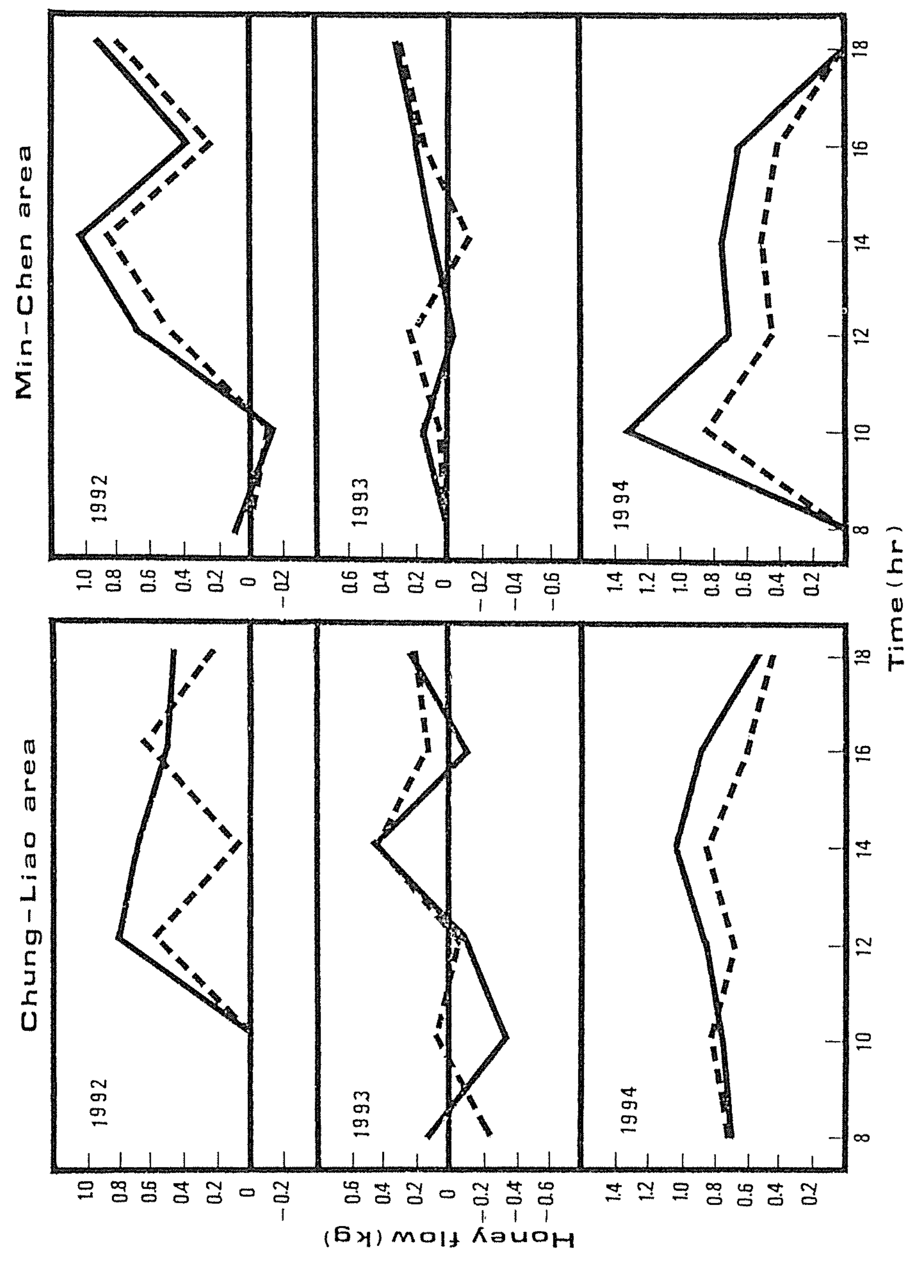


Fig. 2. Comparison of nectar flow of longan between strong and weak colony during daytime. — and ---: Strong and weak colony, respectively.

Table 1. Honey extraction of various bee colony at different blooming stage(mean ± SD)

Year	Blooming stage	Chung-liao		Min-chen	
		Strong colony	Weak colony	Strong colony	Weak colony
1992	Early	3.93±0.75	2.15±0.62	-	-
	Middle	5.63±0.46	3.60±0.70	3.98±1.29	3.55±0.71
	Late	4.40±0.36	2.95±0.90	4.75±1.63	3.90±0.93
1993	Early	5.65±0.64	4.05±0.41	6.75±1.16	3.90±0.62
	Middle	5.33±1.26	5.40±1.63	6.45±1.49	4.93±0.89
	Late	5.45±1.68	5.25±1.70	6.45±2.16	6.40±1.39
1994	Early	5.13±0.18	4.83±0.46	8.18±1.26	4.75±1.58
	Middle	11.15±1.04	10.75±1.36	8.40±0.75	4.40±1.77
	Late	6.60±1.09	5.55±1.33	6.80±0.73	4.43±1.99

量在始花期很少，盛花期最多，末花期又減少，至於一天中進蜜量與當天之天氣情況關係密切。田間觀察顯示前一天下雨，但第二天晴天，其進蜜量仍然很少，梁等(1987)指出紫椴流蜜狀況亦同。以1992年而言，龍眼始花期4月12日及13日雨天，4月14日晴天，進蜜量很少，4月15日晴天進蜜量亦很少，經過雨後連續二個晴天即4月14及15日，4月16日蜂群進蜜量才有明顯的增多，此是否與植物生理及天候狀況有關，有待進一步研究。

由於臺灣南北氣溫差異大，使龍眼之生長期不同，從萌芽、破綻、展葉到花序出現，南部開花時間比中部提前1～2週，多在3月底開花，中部則在4月初，即清明節前，花期1個月左右(鄭等，1986)，臺灣中部地區，4月初開花，4月底即結束，以1992年而言，調查結果4月14日南部爲花末期而中部爲始花期，開花率僅爲30％；而4月7日開花率則爲10％，且均爲雄性花，即第一批開花者，4月14日則雌性花已開始開，即第二批開花者。據徐(1992)之報告，由於龍眼泌蜜適溫是25℃左右，以天氣晴朗，晨霧較濃，即溫度高，濕度大，則泌蜜較佳。此點與李(1984)報告，楓荷梨流蜜主要受氣溫和濕度影響相似。此外，梁(1986)尙指出，如果前一天悶熱，隔天晴朗則流蜜多。過分乾旱或低溫陰雨則花期縮短，泌蜜減少或不泌蜜。由於龍眼有明顯大小年現象，花粉少，採蜜後期因粉源之不足影響蜂幼蟲之生存而使蜂數急速下降。龍眼的泌蜜量受氣侯、土壤及本身生理與生長狀態等因素影響較大，年際間產量很不穩定，如能在龍眼開花前2～3個月預測當年泌蜜情況則有助全年的生產，必能獲得高產、穩產並創造有利的採蜜條件。

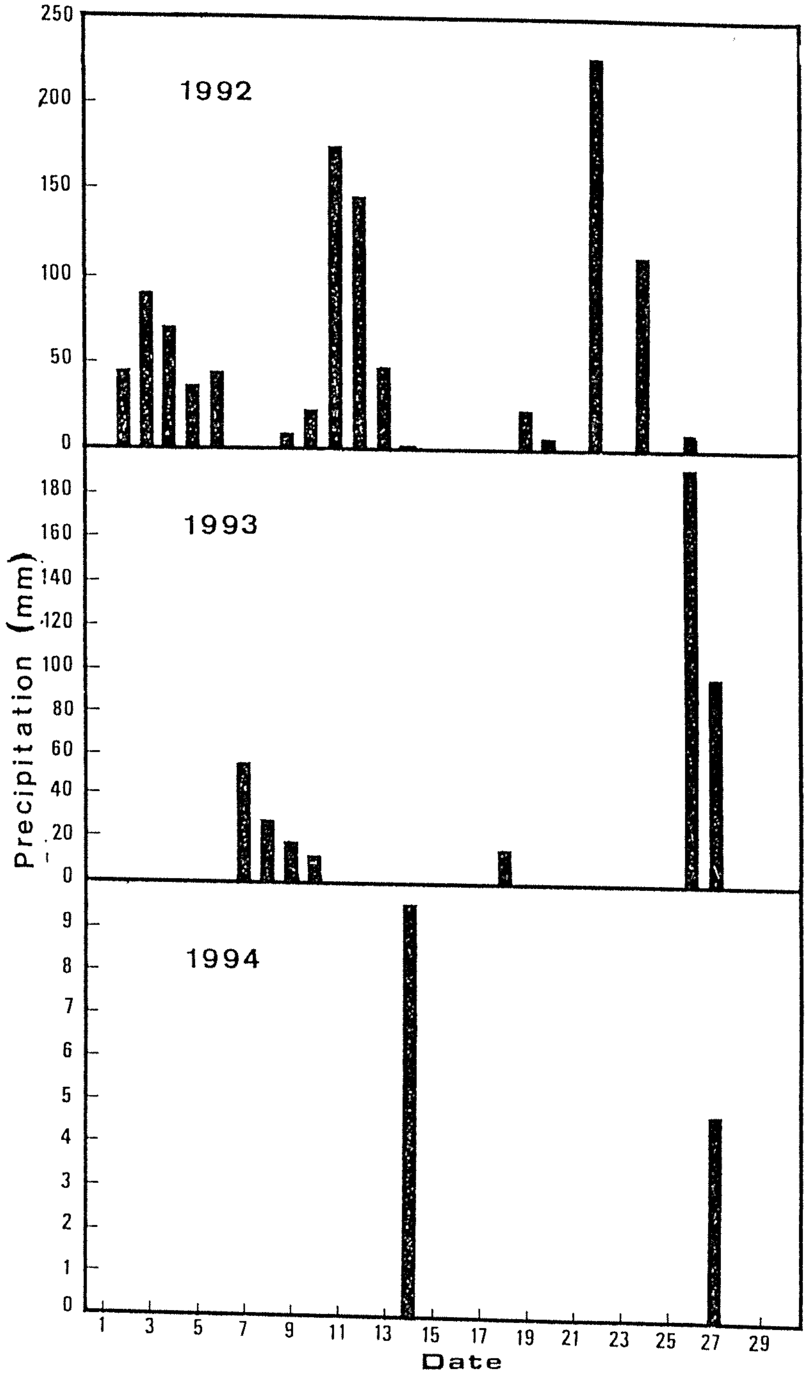


Fig. 3. Precipitation during April 1992, 1993 and 1994.

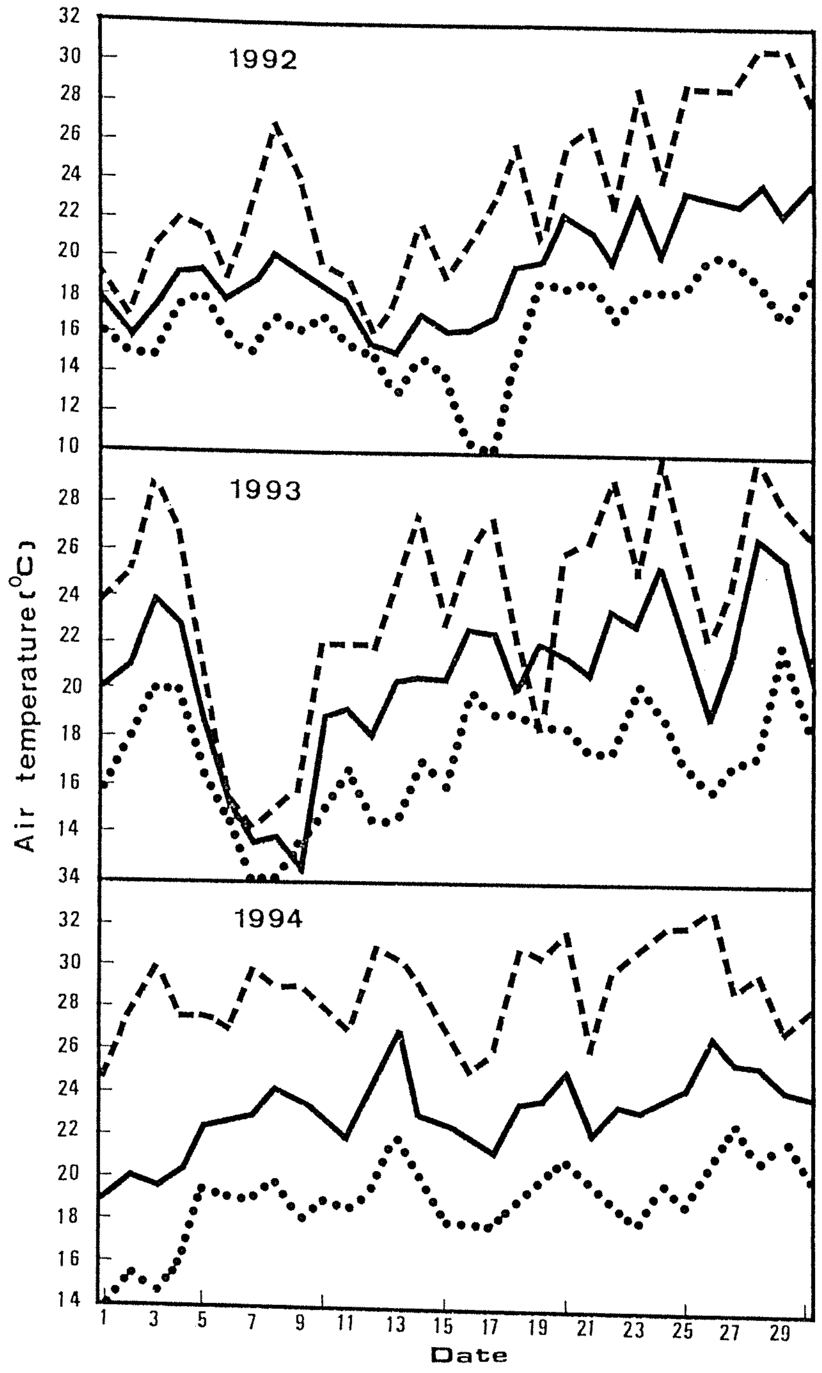


Fig. 4. Daily variance of air temperature of April 1992, 1993 and 1994. ---, —, and ... : Max, mean and min air temperature, respectively.

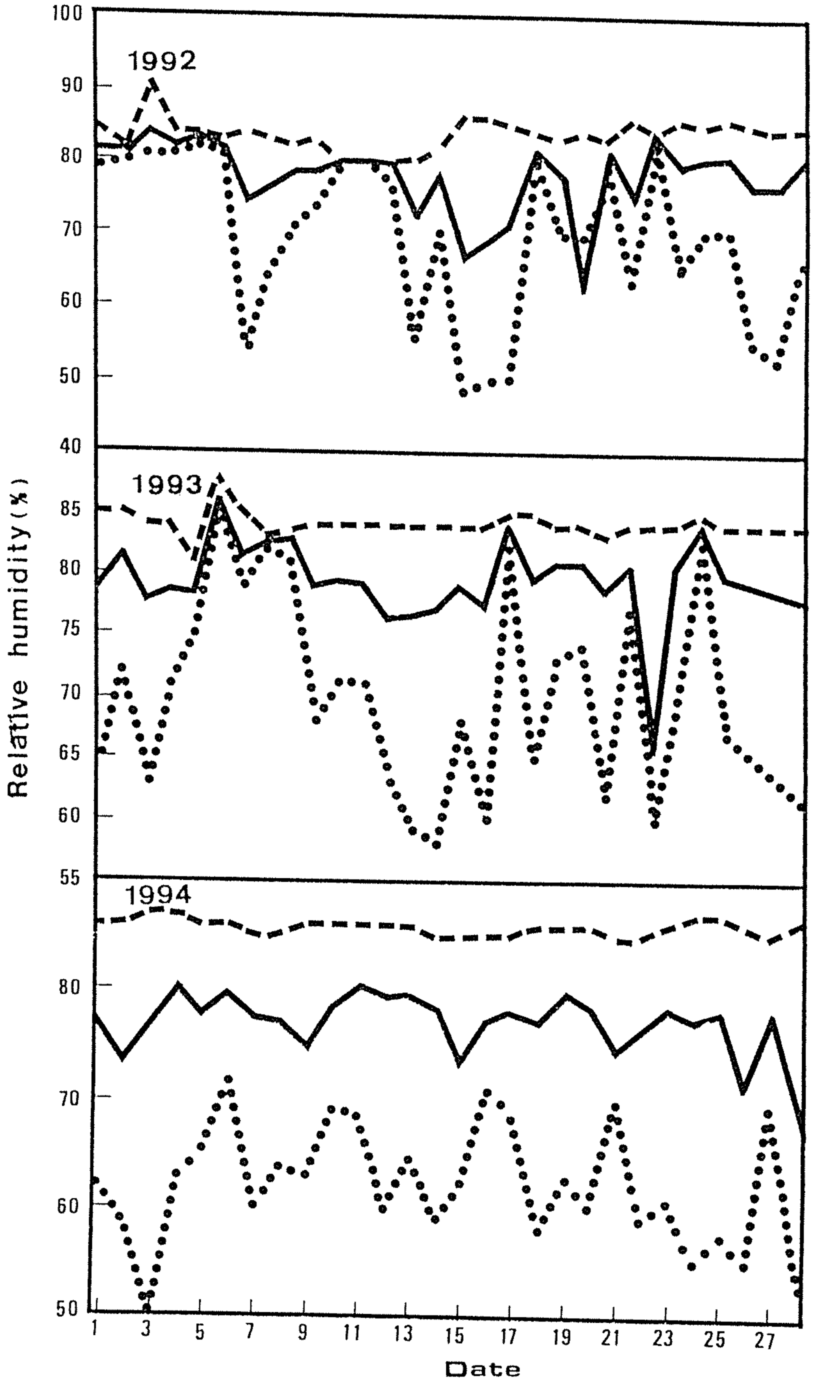


Fig. 5. Daily variance of relative humidity of April 1992, 1993 and 1994. ---, —, and ... : Max, mean and min relative humidity.

誌 謝

本研究承本場許麗容小姐協助試驗工作，曾文章先生提供試驗場地、蜂群及協助試驗工作，謹致謝忱。本試驗承行政院農委會(81農建-2.1-28-(2)，82農建-2.1-林-05(2)，83農建-2-1企-0)補助經費。

引用文獻

李森生 1984 楓荷梨開花習性和泌蜜規律。中國養蜂 3:21。

金大春、王爱光、戴文華 1989 田菁開花流蜜規律的觀察。中國養蜂 4:13-14。

連小川 1990 荔枝、龍眼花蜜高產的管理方法。中國養蜂 1:19-20。

徐萬林 1992 南方主要蜜源植物一龍眼。中國養蜂 2:27-35。

陳運造 1991 台灣蜜源植物的開發與利用(一)栽培蜜源。p9.96-99。萬博出版社。

張恢俊 1985 鵝掌柴開花泌蜜規律的規律。中國養蜂 5:30-31。

梁詩魁 1986 蜜源植物的泌蜜與氣候的關係。蜜蜂 4:10。

梁詩魁、張耀剛、王曉玲、張厚瑄、蘇燕 1987 不同環境紫椴生長發育和開花泌蜜的規律。中國養蜂 5:9-12。

臺灣省政府農林廳 1994 台灣農業年報 pp.118。

黎九淵 1990 柿樹開花泌蜜規律初探。中國養蜂 2:30。

鄭元春、蔡振聰、安奎 1986 台灣蜜源植物之調查研究。博物館年刊 29:117-155。

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 357-367, 1996

茶園間植田菁之微氣候對茶葉化學成分及品質之影響

巫嘉昌
臺灣省茶業改良場

內容

摘要……358
英文摘要……358
前言……359
材料與方法……359
結果與討論……359
誌謝……366
引用文獻……366

茶園間植田菁之微氣候對茶葉化學成分及品質之影響

巫 嘉 昌
臺灣省茶業改良場

摘 要

於 1995 年春茶採收後，在南投縣鹿谷茶區青心烏龍茶園間植田菁(*Sesbania roxburghii* Merr.)綠肥作物，探討茶園間植田菁之微氣候對茶葉化學成分及品質之影響。試驗結果顯示，茶園間植田菁綠肥作物期間，會改變茶園微氣候，隨著田菁處理高度增加，日照強度、葉片溫度及土壤溫度有逐漸下降趨勢。夏及秋茶之茶葉化學成分葉綠素和胺基酸含量有增加趨勢，總多元酚類則有下降現象，而咖啡因含量則變化不一致。製茶品質之香氣滋味有改善現象，以夏茶表現較明顯。

關鍵詞：田菁，茶園，微氣象，化學成分，品質

Effects of Intercropping with *Sesbania* in Tea Field on the Microclimate , Chemical Components and Quality of Tea

Chia-Chang Wu (Taiwan Tea Experiment station, Lu-Ko, Nanton Hsein, Taiwan, ROC.)

ABSTRACT: Field experiments were conducted at Lu-Ko area of Nanton Hsein Taiwan, with tea *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntz cv. Ching-Shing Oolong as a testing variety. Nine years old tea plants were intercropped with *Sesbania roxburghii* Merr. as green manure crop when spring tea was over in 1995. The objectives of this research were to study the effect of intercropping *Sesbania roxburghii* Merr. with different height treatments in tea field on the microclimate, chemical components and quality of tea. Tea plants intercropped with *Sesbania roxburghii* Merr. apparently modified the microclimate in tea garden. The photosynthetic photon flux density (PPFD), leaf temperature and soil temperature were significantly decreased. The high stem characteristic of *Sesbania roxburghii* Merr. could ameliorate the microclimate and increased contents of chlorophyll, amino acid, whereas decreased total polyphenol content in tea leaves. No significant effects on soluble sugar and caffeine contents were found. Tea quality evaluation demonstrated that the summer tea quality of aroma and taste were remarkably improved.

Key words: *Sesbania roxburghii* Merr., tea field, microclimate, chemical components, tea quality

前 言

茶園中實施有機耕作法在世界上許多生產茶業國家已逐漸施行，以有機耕作法生產茶葉可提高市場銷售價格，而且在公元二〇一〇年有機茶葉消費總量將可達 10 % 左右(Grill, 1992)。本省為使茶園永續經營與利用，亦已逐漸採行有機耕作法。豆科綠肥作物之栽培與利用是實施有機農業重要項目之一 (Liebhardt and Harwood, 1985)。而在茶園中間植綠肥作物亦受到農民重視，以生產凍頂茶聞名全省之鹿谷茶區為例，目前栽培面積已超 300 公頃，而且有逐漸增加趨勢(巫, 1996)。關於台灣地區對於茶園綠肥作物研究，吳 (1957) 及林與巫 (1993) 曾在北部及中部茶區進行進行綠肥作物篩選試驗，但並未進一步探討在茶園中間植不同綠肥作物對茶園及茶樹所產生之影響。(巫, 1995)及巫和朱(1995, 1996abc)則就茶園間植綠肥作物對茶園微氣象變化、雜草抑制情況、土壤肥力變化、茶樹芽葉生育和產量、茶葉化學成分及製茶品質情形，有完整之試驗研究報告。根據前面之研究結果亦發現於中部手採茶區夏、秋季適合種植田菁綠肥作物。然而在茶園中間植田菁以後，茶園作物相改變對茶園之微氣候及茶葉化學成分及品質是否有影響，則有必要進一步試驗研究。本報告之目的即在探討茶園間植田菁之微氣候對茶葉化學成分及品質之影響，期望能提供茶農茶園耕作管理之參考。

材料與方法

1. 試驗設計與處理

1995 年春茶採收後在南投縣鹿谷茶區青心烏龍茶園間植田菁綠肥作物，其生長高度分別控制 100、150 及 200 公分，綠肥種子播種量每公頃為 30 公斤，另設置對照區即不種植田菁綠肥作物。試驗設計採完全逢機區集設計，4 處理、2 重複，每處理區茶樹 30 株，每區長度 16 公尺。

2. 調查與分析方法

(1)茶園微氣候調查

在試驗期間自 1995 年 7 月 21 日至 1995 年 8 月 27 日，每天早上從 8 時至下午 5 時每間隔 1 小時分別利用照度計(Luxmeter, Delta HD8366)、葉溫計(Leaf thermometer)及地溫計(Soil thermometer)測定茶樹之樹冠日照強度及葉片溫度與土壤溫度，每處理測定 2 次，並將所測定期間內相同時段之數值平均。

(2)茶樹芽葉化學成分分析

夏、秋茶採收前，採取各處理區之新鮮第二葉，以測定胺基酸、葉綠素及可溶性醣類含量(Arnon, 1949； Moore and Stein, 1948； Yoshids et al., 1972)。另將採摘新鮮之一心二葉茶芽置於 90℃ 烘箱內烘 24 小時後，經磨粉後測定可溶分，總多元酚及咖啡因含量(Iwasa, 1975； 蔡和阮, 1987)，詳細測定方法請參照巫和朱(1995)之研究報告。

(3)製茶品質及官能鑑定

採摘各處理區之新鮮芽葉經日光萎凋、室內靜置及攪拌、揉捻及乾燥後製作成包種茶，製成之茶樣依現行臺灣省茶業改良場官能評審方法(吳, 1973)。

結果與討論

1. 茶園間植田菁對茶園微氣象變化情形

(1)對茶樹樹冠日照強度變化之影響

日照強度會影響茶樹之生育，日照強度易受到季節、緯度、海拔高度、大氣之清濁、水蒸氣量、臭氧層厚度、光之入射角度、植物之相互遮光等因素影響 (Sakai, 1987； Squire, 1977)。日照強度不僅對茶樹光合作用和茶葉的產量形成有密切關係，而且對茶葉品質也有影響。於強光照下會抑制茶芽伸長、細胞壁變厚、促使莖葉纖維硬化，影響製茶品質(馮和徐, 1987)。此外光照強度過强，超過光飽合點時，茶樹光合效率下降，物質代謝也受到影響(陶, 1991)。而在過度遮蔭情況下，由於缺乏能

量供應，因此無法固定CO_2，導致光合成產物降低，影響茶樹生產力。

測定各處理區之茶樹樹冠日照強度變化情形，發現在茶園間植田菁對茶樹之樹冠日照強度有影響(圖 1a)，田菁不同高度處理區與對照區比較茶樹之樹冠日照強度有下降現象，其中以田菁 150、200 公分處理區之茶樹樹冠日照強度下降幅度極顯著。由上述結果發現在本省之夏、秋茶生育期間，日照強度較强狀況下，利用田菁供爲植巷遮蔭，能有效降低茶樹樹冠之日照強度，是可採行，但是否有利於改善茶樹生理代謝作用，則有待進一步探討。

(2)對茶樹葉片溫度變化之影響

大氣中之溫度在田間較葉片溫度容易測得，唯葉片溫度在生理上較有意義(Smith et al., 1993)，然而葉片溫度則容易受到日光直射或互相遮蔭之影響(Othiambo et al., 1988)。試驗發現在茶園中間植田菁以後，會改變茶樹樹冠之日照強度(圖 1a)，進而影響茶樹葉片能量吸收作用，而促使茶樹葉片溫度發生改變(圖 1b)，田間觀察發現隨著田菁植株高度增加，其能欄截較多光照，減少較多幅射能量，故葉片溫度有逐漸下降趨勢，尤其田菁生長高度在 200 公分最爲明顯，與對照區比較葉片溫度最大平均降幅爲 5.20℃，而田菁生長高度在 150 公分之茶樹葉片溫度與對照區比較，葉片溫度最大平均降幅爲 2.28 ℃，至於田菁生長高度在 100 公分之茶樹葉片溫度，最大平均降幅僅爲 0.66 ℃，故其對改善葉片溫度較不明顯。故在本省之夏、秋茶生育期間，氣溫較高狀況下，利用田菁供爲植巷遮蔭，能有效降低茶樹之葉片溫度。

(3)對茶園土壤溫度變化之影響

在茶園中間植田菁以後由於日照強度之改變(圖 1a)，進而會影響土壤溫度變化，此與 Fitter and Hay(1977)指出日照強度之改變，會影響空氣溫度、濕度及土壤溫度的改變有類似現象。圖 1c 爲測定茶園土壤溫度變化情形，田菁不同高度處理區之土壤溫度與對照區比較有明顯下降現象。由於在對照區之表土係屬完全裸露狀況，能完全吸收太陽之幅射熱能，故在表土之溫度明顯比種植田菁處理區高，於中午 12 時土壤溫度增加量達最高，約提高 6.42-7.20 ℃，溫度增加量最少則是在 6 時，約提高 0.48-0.64℃。而在不同田菁生長高度處理中亦發現，地溫之差異變化幅度並不像葉片變化幅度大，可能由於地表皆受到田菁植株遮蔭之影響。地溫變化幅度與田菁生長高度有密切關係，即田菁高度愈高，表土溫度下降愈明顯。在茶園中種植田菁由於其覆蓋性良好，使土壤產生不同之反射率及熱平衡，因此會改變茶園土壤之微氣象。

2.茶園間植田菁對茶葉化學成分之影響

在茶園間植田菁不同高度處理，會改變茶園微氣象(圖 1)。爲進一步瞭解其是否會影響茶葉化學成分含量，分別於夏及秋兩茶季採取芽葉分析化學成分，測定結果如圖 2、3，由圖中顯示在茶園中間植田菁會影響茶葉化學成分含量之變化。

(1)對葉綠素含量之影響

葉綠素存於葉綠体內，其含量受遺傳因子、氣候環境及栽培方法所左右。茶樹葉片顏色常隨著葉片之程熟度而漸次增加，由於綠色程度不同，對於光合作用與製茶品質有密切之關係。在不同栽培環境下，會引起葉色之變化，茶園施用重氮肥會提高鮮葉葉綠素含量(林等, 1991)；在遮蔭狀況下，植物葉片爲了截取較多之光能，葉片會調整單位面積內葉綠素含量(Taiz and Zeiger, 1991)，因此隨著日照強度之降低，葉綠素含量有增加之現象，於本試驗中亦發現有類似之結果(圖 2a)。

在茶園種植田菁可供爲植巷遮蔭材料，攔截部分光線，減少日照強度(圖 1a)，能有效滿足茶樹耐陰之特性，有助於茶芽生長良好，芽葉片嫩性良好，葉色濃綠葉綠素含量提高。田菁 200 公分處理區之茶樹鮮葉中葉綠素總含量與對照區比較有增加趨勢，尤其以秋茶最爲明顯，至於田菁 150 及 100

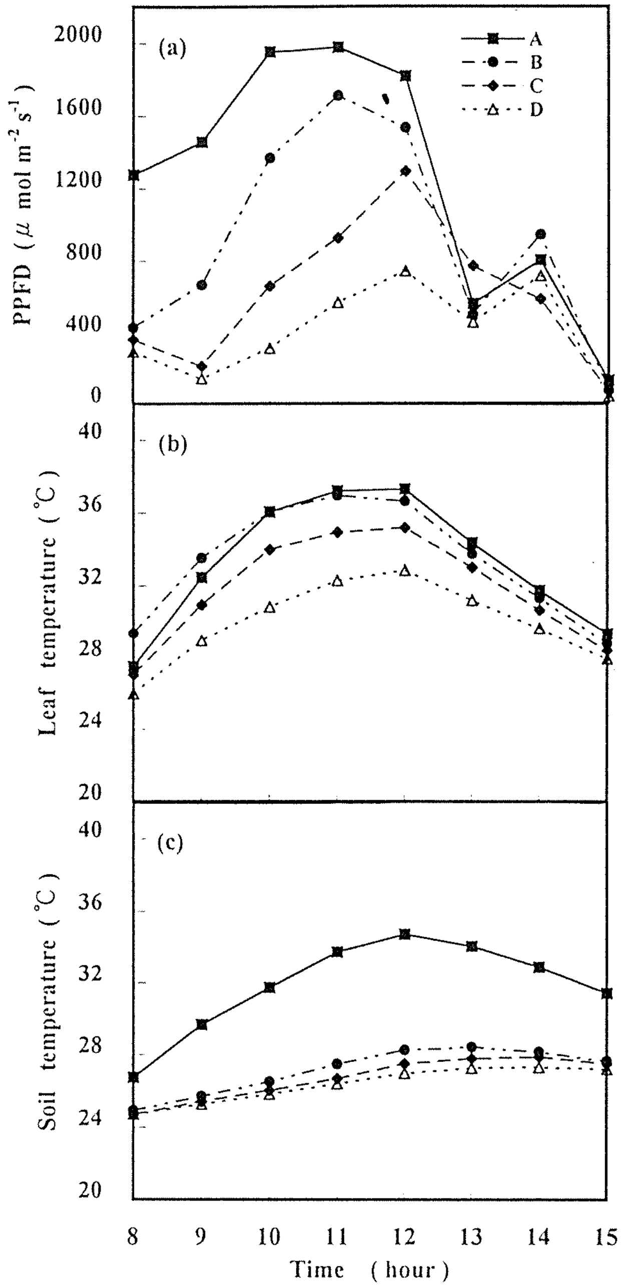


Fig. 1. Variation of climatic elements in tea field with intercropping *Sesbania roxburghii* Merr., cv. Ching-shing Oolong Cultivars. A(--■--): Ck. B(--●--): S. roxburghii 100 cm C(--◆--): *S. roxburghii* 150cm D (--△--): *S. roxburghii* 200cm.

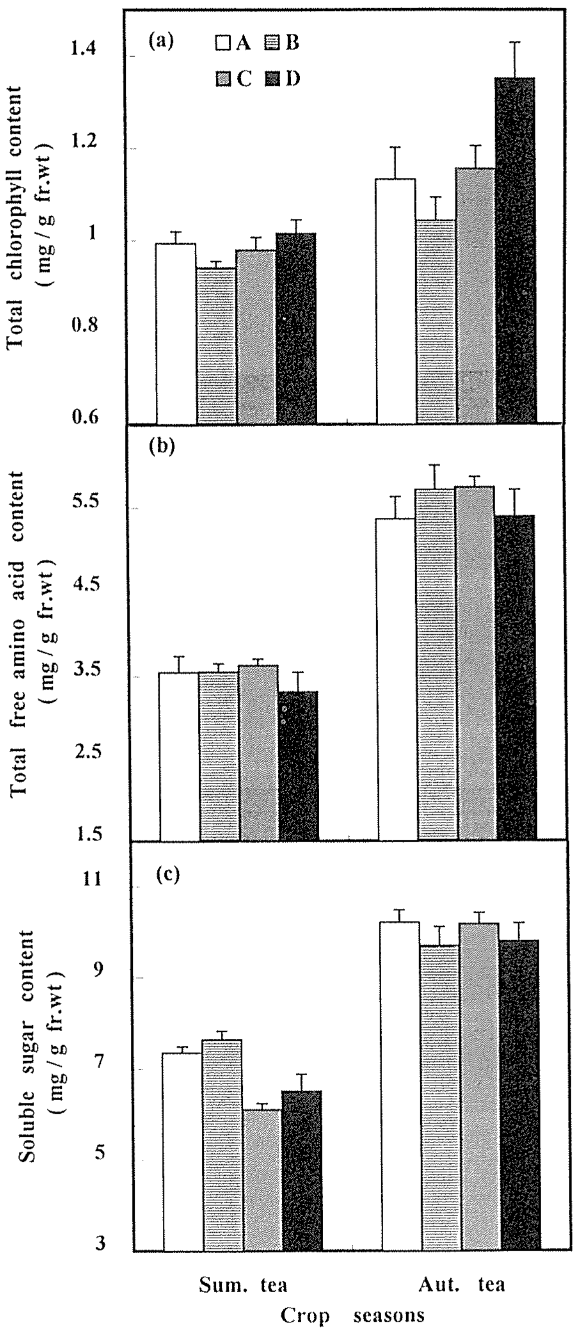


Fig. 2. Effects of intercropping with *Sesbania roxburghii* Merr. on the total chlorophyll, total free amino acid and soluble sugar content of fresh leaves in ching-shing Oolong Cultivars. A(□): Ck. B(▤): *S. roxburghii* 100cm C(▨): *S. roxburghii* 150cm D(■): *S. roxburghii* 200cm. Data are means ± SE of 4 replicates.

公分處理區茶樹鮮葉中葉綠素總含量則增加較不明顯。

(2)對總游離胺基酸含量之影響

茶葉中總游離胺基酸，以茶胺酸含量最多，約佔 50 %以上，在遮蔭環境下，由於光照强度之減弱，有利於茶胺酸之累積作用(Anan and Nakagawa, 1974)，因此有助於提高茶葉中總游離胺基酸含量。Nakagawa and Ishina (1971) 指出在包種茶中胺基酸含量會影響茶湯之甘醇滋味，胺基酸含量愈多滋味愈甘醇，包種茶品質則愈佳。於本試驗中利用田菁植株高莖特性供爲遮蔭材料發現，夏茶田菁 100 公分或 150 公分處理，茶樹鮮葉中總游離胺基酸含量雖然有增加，但並不明顯，而在秋茶則表現較爲顯著(圖 2b)。此與巫和朱(1995, 1996a)報告中指出降低日照强度，有助於提高茶樹鮮葉總游離胺基酸之含量結果相似，因此可見於本省夏、秋季日照較强情況下，利用田菁供爲植巷遮蔭，以提高鮮葉中總游離胺基酸含量是可行。從不同茶季分析茶樹鮮葉中總游離胺基酸含量亦發現田菁植株 200 公分處理，茶樹鮮葉中總游離胺基酸含量並無增加趨勢，是否因田菁植株過高，欄截入射光線較多，造成遮蔭過密，不利於茶樹葉片中茶胺酸累積作用，而導致總游離胺基酸含量沒有提高現象，此有待進一步研究。

(3)對可溶性糖含量變化之影響

糖類不僅在茶樹之代謝作用中扮演重要角色，而且會影響茶葉品質。茶葉中總糖含量高達 10～30％，其中可溶於水只有 4～5％，而可溶性糖是茶湯中的甜醇主要物質(嚴和王, 1993)。可溶性糖會隨葉的粗老而增加，於生長期間內轉化爲多元酚類。可溶性糖在製茶過程中是處於動態變化，可由多糖分解而增加，亦可由自身氧化或轉化而減少。此外可溶性糖與胺基酸、多元酚類化合物相互作用，參與茶葉香氣物質的形成，使茶葉具有花香、蜜糖香、焦糖香等香氣。因此可溶性糖的存在與轉換作用，對茶葉的香氣、滋味及茶湯水色有影響。

從圖 2c 顯示，各處理區之茶樹鮮葉中可溶性糖含量變化趨勢頗不一致。除了在夏茶田菁 100 公分處理區之茶樹鮮葉中可溶性糖含量有增加現象，其餘則均較對照區低。在秋茶茶樹鮮葉中可溶性糖含量各處理區差異不大。由此可知在茶園中間植田菁不同高度處理，對茶樹鮮葉中可溶性糖類影響並不大。

(4)對總多元酚含量變化之影響

酚類化合物是造成綠茶中之苦味主要成分(Nakagawa and Ishima, 1974)，而在日照强度較强情況下，茶樹体內碳素代謝較高，而氮素代謝較低，造成總多元酚類物質較高不利製茶品質。巫和朱(1995)及 Tao and Wang (1989)，分別證實利用遮蔭處理可降低茶葉中多元酚類之含量。本試驗中田菁不同高度處理區之茶樹芽葉中總多元酚含量與對照區比較在夏、秋季皆有下降趨勢(圖 3a)，尤其在夏茶最爲明顯，此外亦發現隨著田菁植株高度增加，日照强度逐漸減弱，茶樹芽葉中總多元酚類含量有隨之減少情形，由此可見田菁確實具有植巷遮蔭作用，在改善夏、秋季茶樹葉片中總多元酚類含量較高情形，是可採行。

(5)對咖啡因含量之影響

在不同茶樹品種經遮蔭處理後，茶葉中咖啡因含量之差異很大 (陳, 1985)，而巫和朱(1995)報告中指日照强度減少對青心烏龍茶樹之茶葉中咖啡因含量變化並不明顯。

本試驗於夏及秋兩茶季分別採取茶芽分析咖啡因含量，發現田菁不同高度處理在兩個採摘茶季中咖啡因含量變化並不一致，在秋茶雖然田菁綠肥區茶芽中咖啡因含量有比對照區較低現象，但是在夏茶則無(圖 3b)。

(6)對可溶分含量變化影響

茶湯中滋味濃淡與可溶分含量多寡有關(嚴, 1993)，可溶性物質含量越高，即水浸出物多，基本上茶葉中水浸出物多寡和組成分可決定茶葉利用價値。分析夏及秋

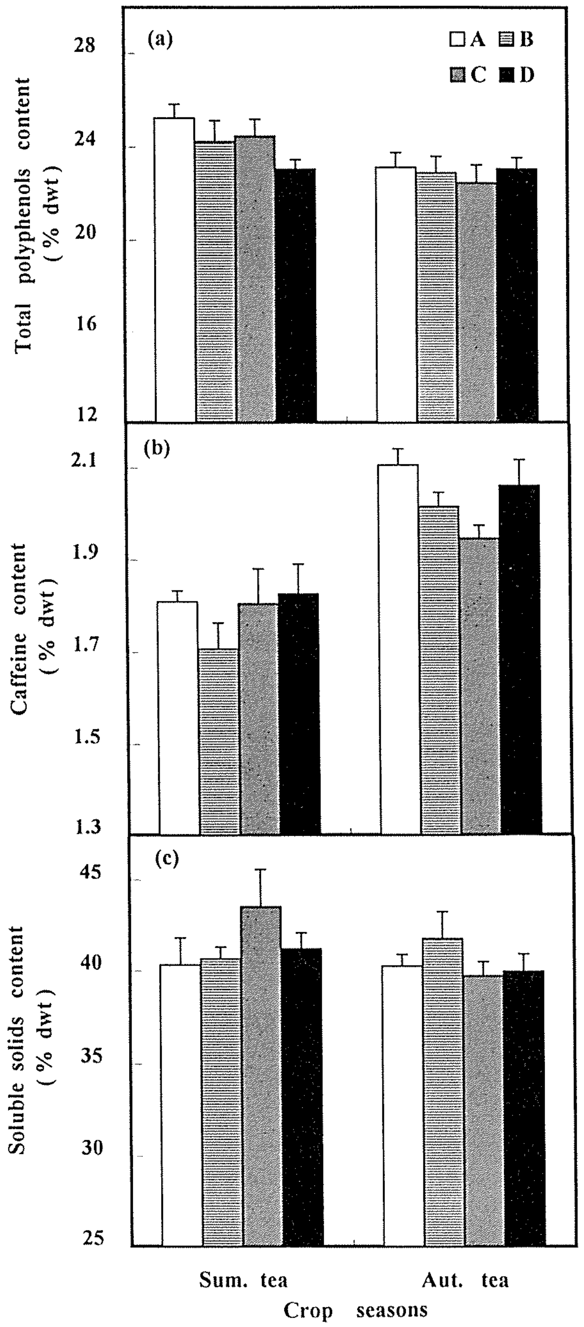


Fig. 3. Effects of intercropping with *Sesbania roxburghii* Merr. on the total polyphenols, caffeine and soluble solids content of tea shoots in ching-shing Oolong Cultivars. A(□): Ck. B(▤): *S. roxburghii* 100cm C(▨): *S. roxburghii* 150cm D(■): *S. roxburghii* 200cm. Data are means ± SE of 4 replicates.

茶茶湯中可溶分含量發現(圖 3c)，在夏茶田菁不同高度處理區之可溶分含量有增加情形，尤其是在田菁 150 公分處理表現最爲明顯，而在秋茶則以田菁 100 公分之可溶分含量有增加情形，至於 150 公分或 200 公分則無此現象。

3.茶園間植田菁對製茶品質之影響

在茶園間植田菁會影響茶園微氣象變化及茶樹芽葉化學成分(圖 1、2、3)，而其是否會影響製茶品質則有待進一步研究。因此在於夏、秋兩季分別採摘芽葉製造成包種茶並進行茶葉品質官能鑑定，以進一步瞭解在茶園中間植田菁對製茶品質之影響，各處理區之製茶品質官能鑑定情形如表 1 所示。本試驗製成茶之做法，係採包種茶製造方式，在外觀形狀屬於半球形，雖在田間觀察發現隨著田菁高度之增加葉片呈較柔軟且呈鮮綠，此外芽長亦有較長現象，理應有利改善製茶外觀，但就各茶季之形狀及色澤評分，各處理區並無明顯之差異，是否在製茶過程中揉捻所造成誤差，則有待進一步探討；在茶湯水色方面，除了秋茶之田菁 150 公分處理區水色成績有較佳外，其餘則差異不大；至於香氣滋味方面，由於氨基酸含量增加及總多元酚類含量下降(圖 2b、3a)，故在夏茶田菁三種不同高度處理與對照區比較，苦澀味則有減少情形，而甘醇潤喉滋味及香氣皆有改善現象；秋茶之香氣滋味，則以田菁高度在 150 公分及200 公分較佳；茶葉官能鑑定總分係由各評定項目之總計，較具複雜性，雖然在秋茶評分方面在不同處理區表現不一致，但是在夏茶之總評分方面於茶園中間植田菁綠肥以後，有改善之趨勢。

Table 1. Effects of intercropping with *Sesbania roxburghii* Merr. on the quality of Ching-shing Oolong Clutivars.

Crop season	Treatment	Appearance	Colour	Color of liquid	Aroma and taste	Total scores
Summer tea	A	7.18 (1)*	7.25 (1)	13.93 (1)	39.25 (4)	67.61 (3)
	B	7.10 (2)	7.03 (3)	13.69 (4)	40.04 (1)	67.86 (1)
	C	7.05 (3)	6.94 (4)	13.73 (3)	39.73 (2)	67.45 (4)
	D	7.18 (1)	7.20 (2)	13.89 (2)	39.39 (3)	67.66 (2)
Autumn tea	A	7.93 (2)	7.82 (2)	14.55 (2)	37.88 (3)	68.18 (1)
	B	8.00 (1)	7.83 (1)	13.93 (3)	37.17 (4)	66.93 (3)
	C	7.72 (3)	7.43 (4)	14.78 (1)	38.17 (1)	68.10 (2)
	D	7.53 (4)	7.47 (3)	13.70 (4)	38.00 (2)	66.70 (4)

* Data are expressed as means of three evaluative valves, the order of evaluations in parentheses.
A: CK, B: *S. roxburghii* 100 cm, C: *S. roxburghii* 150 cm, D: *S. roxburghii* 200 cm.

誌　　謝

本文承農委會(85科技-1.11-糧-29(1))經費補助，試驗期間復承徐森雄、翁仁憲教授指導，及本站梁玉珠、陳玉枝小姐協助試驗調查及分析工作，謹此誌謝。

引用文獻

吳振鐸 1957 茶園綠肥試驗。 科學農業 5: 484-496。

吳振鐸 1973 從茶湯之化學成份談臺灣茶業品質之改進問題。 臺灣農業季刊9(1): 194-198。

巫嘉昌 1995 鹿谷茶園間植綠肥作物對茶葉生育與品質之影響。 國立灣大學碩士論文，臺北，臺灣。

巫嘉昌、朱 鈞 1995 茶園間植綠肥作物對茶葉化學成分與品質之影響。 中華生質能源學會誌 14:118-128。

巫嘉昌 1996 茶園綠肥之栽培與管理。 臺灣農業(刊印中)。

巫嘉昌、朱 鈞 1996a 茶園間植綠肥作物對微氣象及夏茶品質之影響。中華農學會報(刊印中)。

巫嘉昌、朱 鈞 1996b 茶園間植綠肥作物對土壤物理性質及化學成分之影響。中華農藝(刊印中)。

巫嘉昌、朱 鈞 1996c 茶園間植綠肥作物對茶樹生育與產量之影響。 茶業研究彙報(刊印中)。

林木連、巫嘉昌 1993 茶園綠肥作物適應性及栽培改進試驗。 土壤肥料試驗研討會專輯 pp.229-235。

林心炯、郭專、周慶惠、張文錦 1991 施肥對烏龍茶產量品質的影響。茶葉科學 11:109-116。

陶漢之 1991 茶樹光合變化的研究。 作物學報 17(6):444-452。

陳英鈴 1985 遮蓋對茶葉化學成份之影響。 臺灣茶業研究彙報 4:81-88。

夏賢明、劉寶生、丁宇 1988 用近紅外分析法測定綠茶的總氮量。 茶葉科學8(1): 55-59。

蔡右任、阮逸明 1987 茶葉中咖啡因快速簡便測定法之研究。 臺灣茶業研究彙報 6:1-8。

嚴俊、王秀麗 1993 中國名茶可溶性總糖的含量研究。 茶葉通報 3:36-39。

馮鑑淮、徐英祥 1987 遮蔭度對茶芽特性及產量對包種茶品質之研究。 臺灣茶業研究彙報 6:15-20。

Anan, T. and M. Nakagawa. 1974. Effect of light on chemical constituents in tea leaves. Nippon Nogei Kagaku Kaishi 48: 91-96. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 21:1-15.

Fitter, A. H. and R. K. H. Hay. 1987. Environmental Physiology of Plants. Academic Press. Orlando ,USA.

Grill, M. J. E. 1992. Speciality and herbal teas. In: Willson, K. C. and Clifford, M. N. Ed. Tea Chapman and Hall, New York.

Iwasa, K. 1975. Methods of chemical analysis of green tea. Jap. Agric. Res. Quart. 9: 161-164.

Liebhardt, W. and R. Harwood. 1985. Organic farming. In: Technology, Public Policy, and the changing structure of American Agriculture. Vol. 11 Background Papers, No.21, Office of Technology Assessment, Congress of the United States.

Moore, S. and W. H. Stein. 1948. Photometric ninhydrin method for use the chromato graphy of amino acid. J. Biol. Chem. 176: 376-388.

Nakagawa, M. and N. Ishima. 1971. Evaluation of green tea liquors. Statistical analysis. Study of tea 41:41-44.

Nakagawa, M. and N. Ishima. 1974. The relation of chemical content of green tea liquors with their taste. Study of tea 46: 41-47.

Othiambo, H. O., P. O. Owuor, and C. O. Othieno. 1988. Factors affecting tea quality. Field variables- A review. Tea 9(1): 36-40.

Sakai, S. 1987.Studies on photosynthesis and dry matter production of tea plants.Bull. of the Nat. Res. Inst. of Tea. Kanaga Shizuoka, Japan.

Smith, B. G., W. Stephens, P. J. Burgess and M. K. V. Carr. 1993. Effects of light, temperature, irrigation and fertilizer on photosynthesis rate in tea (*Camellia sinensis* L.). Expl. Agric. 29:291-306.

Squire, G. R. 1977. Seasonal changes in the photosynthesis of tea(*Camellia sinensis* L.). J. Appl. Ecol. 14:303-306.

Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. Plant physiology. Benjamin Co.NewYork, USA.

Tao, H. A. and X. G. Wang. 1989. Relationship etween photosynthesis and light quality in *Camellia sinensis*. L. Plant physiol. Comun. 1:19-23.

Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cick and K. A. Gomez. 1972. Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice, 3rd. edn. IRRI, Loss Banos, Philippines.

附錄 1:「農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會」
—行文機關及參加名額分配表—

機關名稱	名額	機關名稱	名額
行政院農業委員會	7	臺灣省農業試驗所	7
行政院環境保護署	7	嘉義分所	2
交通部中央氣象局	2	鳳山分所	2
臺灣省政府農林廳	5	臺灣省水產試驗所	2
臺灣省政府糧食局	2	東港分所	2
臺灣省林務局	2	臺灣省林業試驗所	3
臺灣省水土保持局	2	臺灣省茶業改良場	3
臺灣省環保處	3	臺灣省蠶蜂業改良場	3
中研院植物研究所	3	臺灣省種苗改良繁殖場	3
臺灣大學農藝系	3	臺北市環保局	2
臺灣大學植物系	3	高雄市環保局	2
臺灣大學植病系	3	臺北縣環保局	1
臺灣大學環工所	3	基隆市環保局	1
中興大學農藝系	3	桃園縣環保局	1
中興大學植物系	3	新竹縣環保局	1
中興大學植病系	3	新竹市環保局	1
中興大學土壤系	3	苗栗縣環保局	1
中興大學環工系	3	臺中縣環保局	1
文化大學農學院	3	臺中市環保局	1
亞洲蔬菜研究發展中心	3	彰化縣環保局	1
屏東技術學院農園系	3	南投縣環保局	1
屏東技術學院水保系	3	雲林縣環保局	1
屏東技術學院環保系	3	嘉義縣環保局	1
嘉義農專農藝科	3	嘉義市環保局	1
桃園區農業改良場	3	臺南縣環保局	1
臺中區農業改良場	3	臺南市環保局	1
臺南區農業改良場	3	高雄縣環保局	1
高雄區農業改良場	3	屏東縣環保局	1
臺東區農業改良場	3	臺東縣環保局	1
花蓮區農業改良場	3	花蓮縣環保局	1
臺灣省畜產試驗所	3	宜蘭縣環保局	1
金門農業試驗所	1	臺灣省農業藥物毒物試驗所	2
卓蘭鎮農會	1		
合計	154		

上列名額不包括受邀機關首長、主持人、及論文宣讀人等。

附錄 2:「農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會」

議　　程

目　　　的：瞭解農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響，並研討因應措施。
主 辦 單 位：臺灣省農業試驗所
經費補助單位：行政院農業委員會　　行政院環境保護署
時　　　間：民國八十五年六月六～七日(週四～週五)
地　　　點：臺灣省農業試驗所國際會議廳

85 年 6 月 6 日 (週四)

0830-0900	報到		
0900-0930	開幕式(主席致詞、長官致詞、貴賓致詞)		
0930-1000	團體照相/休息		
1000-1040	專題演講(一)	由作物逆境觀點看空氣污染防制工作	陳雄文*
1040-1120	專題演講(二)	臭氧光化污染之現況與控制策略建議	柳中明* 楊之遠
1120-1200	專題演講(三)	臺灣地區光化學煙霧污染及其影響	孫岩章* 詹婷婷
1200-1300	午餐/休息		

第一節 空氣污染物對農業生產影響
主持人：陳雄文處長　林俊義所長

1300-1320	臺灣地區空氣污染指標作物觀測區及資料庫之建立	申　雍* 謝慶芳
1320-1340	二氧化硫對蔬菜作物之傷害及和黑斑病發生之交互作用	謝式坪鈺* 紀廷勳
1340-1400	濱海地區空氣中氯、鈉及火力發電廠排放物對作物生長之影響	謝慶芳* 徐國男
1420-1440	氟化物污染源周邊植物氟之累積情形	李貽華* 徐慈鴻 蔣慕琰
1440-1500	大氣品質對南部地區園藝作物生產之影響	林正忠* 楊淑惠
1500-1520	篩選水稻耐二氧化硫癒合組織及其再生植株	宮濟平　楊居成*
1520-1540	休息	

第二節 酸雨對農業生產影響
主持人：楊之遠副處長　柳中明教授

1540-1600	部份農藝作物對人工模擬酸雨之徵狀反應	楊純明* 蘇慕容 李裕娟 張愛華
1600-1620	酸雨對農耕土壤之影響	王銀波* 劉黔蘭 宋昌勳
1620-1640	硫酸模擬之酸雨對水稻劍葉及穀粒之影響	周煒裕* 宋濟民
1640-1700	模擬酸雨對落花生生理反應之影響	姚銘輝* 漆匡時 蔡金川

85 年 6 月 7 日 (週五)

第三節 微氣候(象)與農業環境
主持人：林明華技正　盧煌勝主任

0830-0850	澎湖地區鹽風之農業災害調查	蔡金池*
0850-0910	檬果園微氣候調查	張哲瑋* 張賢明 趙政男 王惠亮
0910-0930	臺灣西南部地區潛在蒸發散量之估算與應用	申　雍* 黃學文
0930-0950	降雨量對小白菜產量損害率探討	林文助*
0950-1010	不同設施栽培對葉菜類蔬菜生產之影響	蔡金川* 漆匡時 姚銘輝 劉慧瑛　梁連勝 劉復誠 李炳和
1010-1030	休息	

第四節 農業氣象與農業生產(一)
主持人：徐森雄教授　劉復誠技正

1030-1050	東南部茶區氣象條件對茶樹芽葉生育之影響	鄭混元*
1050-1110	氣溫對屏東地區冬季蓮霧生產之影響	郭同慶*
1110-1130	氣象因子對甘藷產量影響之研究	賴永昌* 李炳和 劉復誠
1130-1150	桑葉生產與氣象條件之關係	林洋三* 林進財 張銘文 蘇紹璋
1150-1210	氣象因子及灌溉對盤固草生產力及乾草品質之影響	許福星* 洪國源 鄭俊哲
1210-1230	氣象因子對小白菜生育之影響	翁仁憲*
1230-1330	午餐/休息	

第五節 農業氣象與農業生產(二)
主持人：翁仁憲教授　申雍教授

1330-1350	氣象因子對水稻生育量與產量評估技術探討	羅正宗* 陳一心
1350-1410	北部沿海地區季節風對水稻產量及品質的影響	林孟輝* 張學琨
1410-1430	氣象因子對大豆生產之影響	楊純明　李裕娟* 蘇慕容
1430-1450	畜舍微氣候對乳牛產乳性狀影響之研究	徐森雄* 劉炳燦
1450-1510	氣象條件對龍眼流蜜及蜜蜂採蜜之影響	章加寶*
1510-1530	茶園間植田菁之微氣象對茶葉化學成分及品質之影響	巫嘉昌*
1530-1550	休息	

第六節 綜合討論
主持人：陳雄文處長　林明華技正　杜金池理事長　徐森雄教授　林俊義所長

1550-1700 中心議題：如何整合農業氣象、空氣污染及酸雨研究以改善農業生產環境

附錄 3：農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會

籌備委員會

召集人：林俊義 所長，臺灣省農業試驗所

籌備委員：	行政院農業委員會農糧處	林明華技正
	行政院環境保護署空保處	蕭慧娟技正
	臺灣省政府農林廳技術室	陳榮輝技正
	中央氣象局預報中心	劉復誠技正
	中興大學土壤環境系	申　雍教授
	屏東技術學院水保系	徐森雄教授
	臺灣省農業試驗所	林俊義所長
	中華農業氣象學會學術組	楊純明組長

工作小組

執行秘書：盧煌勝 主任，臺灣省農業試驗所

工作小組：總務組組長—郭益全 博士，臺灣省農業試驗所
接待組組長—呂秀英 博士，臺灣省農業試驗所
會務組組長—楊純明 博士，臺灣省農業試驗所

工作人員：	連　深	梁連勝	盧煌勝	蔡金川	漆匡時
	姚銘輝	楊純明	郭益全	呂秀英	陳治官
	賴明信	李長沛	羅炎騰	吳忠義	李文雄
	蔡素卿	蕭淑柃	林麗芳	李裕娟	蘇慕容
	李秀美	邱顯泉	曹文隆	何千里	黃惠娟
	溫彩欽	施福芳	蔡松樹	王清澧	張　富
	林海生	胡文祥	蔡武彥	鄭統隆	魏夢麗
	邱輝龍	呂椿棠	張富洲	謝瓊玲	張同吳
	陳盈佑	柯寬裕	林廖儉		

索引 (Index)

一氧化碳　11
乙烯　65
二氧化硫　11, 54, 55, 112
二氧化碳　137, 156
人工模擬酸雨　122, 124, 156
大豆　314, 315
大氣品質　98
小白菜　204, 210, 278
土壤　136
火力發電廠　74
日夜溫差　253
水資源　192
水稻　74, 112, 144, 298
甘藷　170, 252
田菁　358
光化污染　5, 13, 27, 90
光化煙霧　11, 34, 35
光氧化物　4
百芽重　238
防風林　170, 171
防風體　170, 171
再生植物　112
自生植物　88
作物逆境　2
季節風　170
污染防治　2
空氣污染　2, 42, 88, 123
乳牛　332
氟　88
氟化物　88, 90
指標作(植)物　42, 43, 89, 123
原生性污染物　4
降雨(水)量　204, 278
臭氧　10, 34, 89
流蜜　346
茶區　226
茶園　358
茶葉(樹)　226, 358
桑葉(樹)　262, 263
畜舍微氣候　332, 334
設施　210, 211
氣孔導度　65
氣候變遷　7
氣象因子　252, 262, 278, 288, 314, 320
氣溫　244, 278
累積溫度(積溫)　210, 288
乾旱　192, 194, 270
陽離子交換容量　138
產乳性狀　332
產期調節　244
氮氧化物　11
氯　74
鈉　74
寒害　244
硫酸　144
過氧硝酸乙醯酯　34, 35, 89
過氧硝酸丙醯酯　34, 35
黑斑病　54, 58
園藝作物　98
路徑係數分析　226, 228
資料庫　42
溫濕度指數　332, 333, 334
落花生　156
葉片均質液　125, 129
葉斑　128
微氣候(象)　170, 182, 332, 334
農藝作物　122
蓮霧　244, 245
種子活力　314
網室　210
酸中和量　136
酸雨　123, 136, 137
酸性沉降　6, 146
酸緩衝量　129
蜜蜂　346
鋁緩衝　138
徵狀反應　122, 125
潛在蒸發散量　192, 193
劍葉　144
盤固草　270, 271
蔬菜　210
穀粒　144
龍眼　346, 347
癒合組織　112
檬果　182
灌溉　193, 270
鹽風　170

農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯

發行人：林 俊 義
主　編：楊 純 明
編　審：林俊義　盧煌勝
出版者：臺灣省農業試驗所
地址/臺中縣霧峰鄉中正路189號
電話/(04) 330-2301
電傳/(04) 333-8162, 330-2806
承印者：寶成電腦文字排版坊
地址/臺中市建成路300號
電話/(04) 213-0862
電傳/(04) 211-1655
中華民國八十五年六月出版

ISBN 957-00-7250-4

ISBN
957-00-7250-4